

## 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

# IMPLEMENTATION OF METHODOLOGICAL PROCESSES OF USERS EXPERIENCE WITH 3D TECHNOLOGY AND AUGMENTED REALITY. CASE STUDY WITH STUDENTS OF ARCHITECTURE AND USERS WITH DISABILITIES.

Navarro Delgado, Isidro  
Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica – Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Avda. Diagonal, 649. 08012 Barcelona  
isidro.navarro@upc.edu

Fonseca, David  
(GTM) Departament de Tecnologies Media - Enginyeria i Arquitectura La Salle, Universitat Ramon Llull  
Cuatre Camins, 2. 08022 Barcelona  
fonsi@salle.url.edu

## RESUMEN

Architecture and other cultural places of interest are shown as the results of the progress of evolution of society. People have a right to access these: *"Everyone, as a member of society ... entitled to the satisfaction of economic, social and cultural rights indispensable for his dignity and the free development of his personality."*

The society has a responsibility to bring this knowledge to anyone, whether or not disabilities their mental or physical abilities that may prevent access to this information.

The new technology provides effective tools for interpreting the architecture and culture in general. Thus, a project may have an emotional impact in people as well as while more widespread in society as a whole.

The project defines a methodology for evaluating accessibility in architecture and its application (with people with visual disabilities) to visit emblematic buildings of architecture, as the Church of the Sagrada Familia in Barcelona, designed by architect Antoni Gaudí.

The project is made by disabled people and students of architecture. They work in definition of development and practical application of designs. The experience of students as users and content developers will allow us to empirically assess the usability and accessibility of the built environment.

Keywords: Augmented Reality, Disabled Users, Accessible Architecture, User Experience

## 1. INTRODUCCIÓN

Access to the architectural culture for disabled people is difficult in most cases (museums, visits to buildings, exhibitions, etc.). The effectiveness of that access depends on the information provided to the user. Also it must allow interact with the physical spaces. The senses like touch, sight and hearing are the main channels from which users can be helped, and is in these senses where students must be alert to provide the initial information.

For disable people it is important that they can visit the exhibition spaces, museums or other places of interest to complete the user experience. Some previous teaching

experiences are the basis of research and development of methodologies based on the response to these stimuli in the end users.

Thus, previous project experience shows that by involving users in the different phases, results have a higher effectiveness of the proposals to show the contents of any cultural event. The development team composed of teachers, technicians and students of architecture increases the ability of the theoretical approach more specifically.

The methodology is aimed at achieving a satisfactory experience for developers and end users.

## 2. STATE OF ART

The French philosopher Diderot said, *"... of every sense, sight is the most superficial, the ear the sense most arrogant, the most voluptuous is smell, taste, the more superstitious and more variable, touch is the deepest and philosophical"*.

Currently, there are many museums and organizations that offer alternatives for accessibility. Some museums have art galleries especially dedicated to people with disabilities. Some of these are:

- Typhological Museum of ONCE, Madrid, Spain.[1]
- Touch Museum in Athens. [2]
- Social Work Cataluña Caixa, building La Pedrera, exhibit *'La pedrera touch'*.
- Louvre Museum, París.
- National Museum of Archaeology, Anthropology and History of Peru.

Some of these experiences have been made in the field of architecture and access to built heritage. These are experiences that are related to the project.

## 3. METODOLOGY

The current project is a continuation of the practices developed in a previous projects [3] [4] which established a new research line with disabled users by the students of the Architecture degree. The methodology is defined in six phases and the previous project developed the first one. The next stages to develop in this paper are phase number 2 and 3:

- **Phase 1:** Practical development of a project and evaluation of the different phases.
- **Phase 2: Definition and implementation of a theoretical methodology.**
- **Phase 3: Analysis of results of the proposed methodology.**
- **Phase 4:** Modification of the methodology based on the results.
- **Phase 5:** Analysis of the new methodology.
- **Phase 6:** Definition of the final methodology and iteration in other frameworks.

In the previous phase of the project we obtained initial results, which will be defined in an implementation of this present second phase. The main points to consider in this new phase are defined as follows:

- **Analysis of results of the previous phase:** The results will allow us to improve some aspects of the workflow of new stages incorporating advances in technology and training methodologies.
- **Implementation of 3.0 training methodological approaches:** The collaborative workflow method which involves several team profiles allows us to add new experiences to the common objective of the project.
- **Evaluation of new techniques of representation:** In this phase we will evaluate and analyze new techniques developed and using augmented reality (AR) and their possible incorporation in the application of the project.
- **Implementation of the methodology:** The application of new techniques of representation and increasing participation of involved agencies will improve the final experience.

The definition of the parameters related to the past experience has focused on a more complex training process developed into the following steps:

- **Step 1, the context:** the project developed in this paper is a continuation of the first phase addressed to disabled users and developed the last year. The theme of the work is the Basilica of Holy Family (Gaudí, Barcelona, Spain) and the geometry of some of its architectural elements.
- **Step 2, development of prototypes:** the student projects are done using CAD technology in the definition of constructive elements and their representation in 3D.
- **Step 3, evaluation of geometric models by disabled users:** the students have the opportunity to check with the disabled users experience the effectiveness of the models used in the previous step and evaluate the results.
- **Step 4, trail with 3D models in AR:** evaluation of new imaging techniques for future possible incorporation into the project content. This step is still in experimental process but it opens new lines to guide the contents to other user profiles.
- **Step 5, new user experiences:** Iteration of user experiences in this second general phase with the final models, descriptive text and raised panels, following the direction of the project. The students have the opportunity to redefine content of their teaching material.
- **Step 6, presentation and public exhibition of the didactical adapted materials:** the works are presented in this stage in a box with all the material. The exhibition takes place in a public location of the university.
- **Step 7, visit of the monument:** teachers, students, disabled users, rehabilitation experts and disabled guides

visit the monument to share the experience and evaluate the results [Figure 1].

- **Step 8, analysis of results and methodology:** the Project ends with the conclusions and evaluations of the experiences of the whole process.



Figure 1: Basilica of Holy Family visit.

#### 4. PHASE 2: DEFINITION AND IMPLEMENTATION OF A THEORETICAL METHODOLOGY.

##### Step 1: The context.

The proposal continues the research of an earlier draft. Students participate in collaboration with organizations of persons with disabilities. The project has a duration of six months in the third year of Architecture degree.

The group consists of twelve students and a teacher. Volunteers are three technicians people and four volunteers with disabilities. In the final visit are included three tour guides to the building and a group of thirty people, including at least 15 whose are disabled with partial or total blindness.

The technicians of these organizations provide initial training to be considered in project design adapted. The organism ONCE for disable people also provides students the technical resources to develop teaching materials. The volunteers with disabilities will participate in the process of project design.

##### Step 2: Development of prototypes.

The prototypes are designed with 3D models in specific CAD programs. Students learn new techniques to develop models (laser cutting, 3D printing, silicone molds and resin). Knowledge of the properties of these materials is aimed at applying these techniques in their own studio projects.

The process for creating 3D models is as follows:

- The prototypes are designed in wooden elements (conceptual prototypes of architectural geometry). [Figure 2].



**Figure 2: conceptual prototypes of architectural geometry.**

- Students apply a plaster finish and latex on the wooden models [Figure 3].



**Figure 3: student with the prototype in plaster.**

- The models are placed in a container upside down and covered with silicone rubber (a process that needs time to dry)
- Later, it is necessary to invert the mold to fill it. Epoxy resin will be the final finish.

Other didactic materials are developed in the department of ONCE using writing machines and Braille printing tools and molds plastic panels.

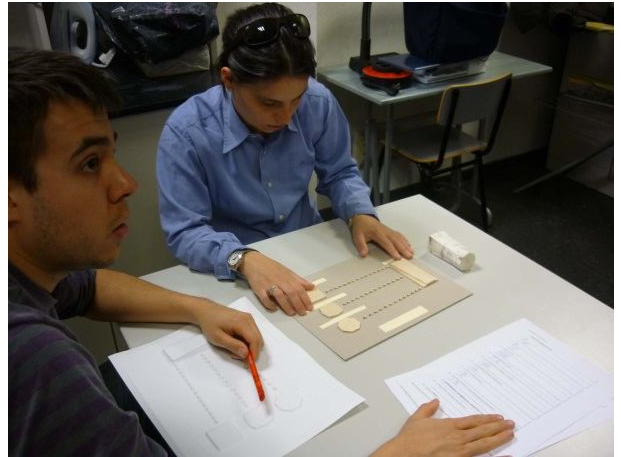
### **Step 3: Evaluation of geometric models by disabled users.**

The volunteers with disabilities participate in the design definition phase. Architecture students can carry out experiments with users and evaluate prototypes with surveys that reflect the effectiveness of the work.

The suggestions of the volunteers will be critical to the correctness of the designs for further evaluation. The surveys were incorporated into the information system of the Intranet of the university to discuss the overall results of the project.

This phase of consultation has the support of the national organism ONCE. This organism is actively involved because they give us technical support providing access to the classrooms of his delegation and human resources to make

appropriate contacts with users whose may experience the project [Figure 4].



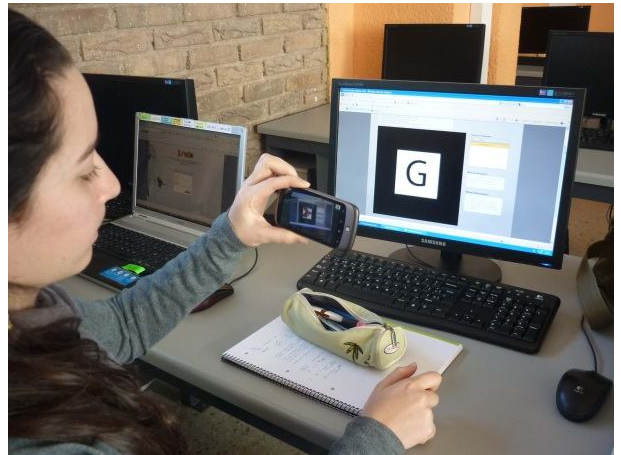
**Figure 4: evaluation of geometric models by disabled users.**

### **Step 4: Training with 3D models in AR.**

Students test new augmented reality techniques to assess their possible incorporation into the project with people with disabilities.

This phase will be a test for future projects where new ways of implementing applications for mobile devices which are integrated into the course.

The project is in the aimed to approximate the experience the students as a specific application to their own exercises in other courses of Architecture degree [Figure 5].



**Figure 5: trail with 3D models in AR.**

### **Step 5: New user experiences.**

The second stage of development of the project is also led by volunteers and students. On the second visit is made the test materials adapted and improved from the changes suggested by the first experience.

Also tested new content adaptation. These are relief panels, panels with large font size and Braille texts with descriptions of 3D models [Figure 6].



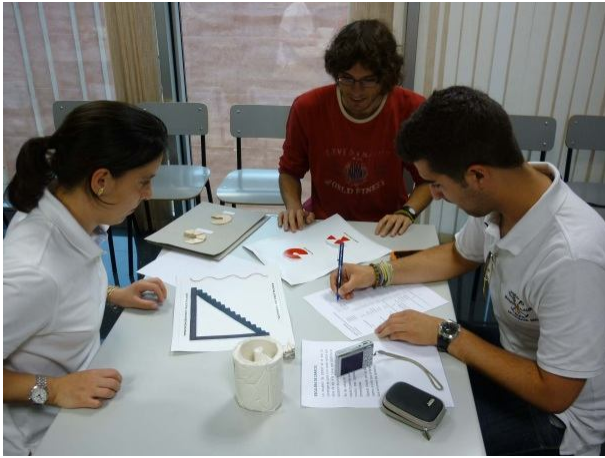


Figure 6: new user experiences.

**Step 6: Presentation and public exhibition of the didactical adapted materials.**

The presentation is inside of a small suitcase containing of all materials adapted and protected in order to use them on a tour. In the last phase, these bags are used for the group of disabled people in the church [Figure 7].



Figure 7: didactical adapted materials.

**Step 7: Visit of the monument.**

The last step is to visit the place with all participants of the project: students, teachers, volunteers, disabled users, rehabilitation technicians, guides and leaders of the Basilica. In this step have been used adapted models from the models of the Basilica and the contents generated by the students. The visit is conducted in several stages:

- **Description of the research project and the Basilica of Holy Family:** It develops in the annex building which it was originally the school for the children of the firs workers of the temple. This explanation also includes the experience of touching the models and the adapted material realized by the architecture degree students [Figure 8].



Figure 8: Students explanations to disabled users.

- **Tour visiting outer and inside places of Basilica of Holy Family:** The group of disabled uses covers with the guides and students all the spaces and pay attention and stopping at singular points. In this tour the users can touch the materials and experience the feeling of space inside the acoustic perception. Students also experience the difficulty of accessibility architectural tours of singular buildings for disabled users [Figure 9].



Figure 9: Tour inside the Basilica of Holy Family.

- **Tour at the exhibition “Gaudí and Nature”:** In this permanent exhibition space placed inside the Basilica, the users can touch models of architectural features made with references to the nature. The chairman of the exhibition serves to visitors and can also observes the reactions of disabled users [Figure 10].



Figure 10: 'Gaudí and Nature' tour with adapted material.

#### Step 8: Analysis of results and methodology.

Finally we evaluate the experience and the result of applying these materials developed by students in a guided tour of the Basilica.

The graphic material collected during the tour and all comments from the users are analyzed to obtain new conclusions to improve future experiences.

### 5. CONCLUSIONS

The most relevant conclusions of our study are:

- In the previous phase, the disabled experts and the Basilica visit have facilitated the understanding of the structure of the project to the students. The objective and methodology to be followed are defined in this first step of the project. This system has been evaluated positively by students.
- Prototyping and their evaluation by users in the design process (into two stages, initial and final process), it is a system that helps to improve the models for the explanation in the monument visit at the end of the course. The volunteers with disabilities have evaluated as indispensable their participation to improve student proposals.
- The geometry is easily interpreted, but not in all cases due to the different levels of knowledge related to the matter. This is an aspect to improve in future activities: the adequacy of the contents in its definition and terminology to be used.
- The vision impairment is not the determining factor to understanding of the geometric models, as the touch and text description along with raised panels are crucial for quick interpretation. For this reason they need to have even greater clarity of understanding.
- The architectural project is another important factor. In this research project, the Basilica of Holy Family is very complex but the selection of singular elements facilitates understanding of the whole. It is necessary to realize projects with other similar buildings as historic monuments to compare experiences and methodology.

### 6. REFERENCES

- [1] **Benito, G.** *Inaugurado el Museo Tifológico* (1993). Perfiles 81, 35-37.

- [2] **UNESCO**, *Los museos y el mundo real, El museo táctil de Atenas: un servicio educativo para ciegos*, Revista Museum, No 162 (Vol. XLI, n° 2, 1989), 78-79.
- [3] **Navarro, I., Fonseca D.**, *Accesibilidad Web en entornos culturales*. Conferencia IADIS Ibero-americana WWW/Internet – CIAWI 2008. Lisboa, Portugal. Pp 583-585
- [4] **Navarro, I., Fonseca, D.** *Diseño de exposiciones arquitectónicas para discapacitados visuales. Aplicación de tecnologías 3D y experiencia de usuario*. 2010. CISC Proceedings vol. III, pp 281-285. Orlando, FL. USA.



# Evaluación Docente en el uso de la Realidad Aumentada en Arquitectura

## Propuesta Metodológica

Isidro Navarro

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
Universidad Politécnica de Catalunya  
Barcelona, Spain  
Isidro.navarro@upc.edu

David Fonseca

Arquitectura La Salle  
Universitat Ramon Llull  
Barcelona, Spain  
fonsi@salle.url.edu

Ernest Redondo, Albert Sánchez

Universidad Politécnica de Cataluña - Barcelona Tech.  
Barcelona, Spain  
{albert.sanchez.riera; ernesto.redondo}@upc.edu

Nuria Martí, David Simón

Arquitectura La Salle, Universitat Ramon Llull  
Barcelona, Spain  
{nmarti; dsimon}@salle.url.edu

**Abstract—** La incorporación de nuevas tecnologías en los estudios universitarios es un factor consumado. No obstante, es necesario evaluar el grado de satisfacción, necesidad e interés que el uso de cualquier tecnología puede conllevar tanto en la formación del estudiante como en la percepción del mismo en el uso de la misma. En este trabajo presentamos una propuesta de evaluación en la implementación y uso de la Realidad Aumentada (RA) en el grado de arquitectura basándonos en una revisión adecuada de trabajos previos en la evaluación docente y los análisis estadísticos. El principal objetivo del artículo es diseñar un modelo de encuesta que refleje el perfil tecnológico del estudiante y su grado de adaptación y satisfacción en el uso de una determinada tecnología aplicable a su área de conocimientos.

**Keywords:** Evaluación; Realidad aumentada; Grado de Arquitectura; Educación; Estudios de usuario.

### I. INTRODUCCION

La implantación y uso de la tecnología en las aulas es prácticamente una situación consumada. En la actualidad nadie duda de la necesidad de modernizar tanto los contenidos como la metodología docente adaptándolos a lo que podríamos llamar los nuevos tiempos, y que no son más que el reflejo de una sociedad y un alumnado que se están formando desde edades muy tempranas, conviviendo y usando todo tipo de tecnologías como Internet, dispositivos móviles como teléfonos y tabletas con aplicaciones interactivas, uso de las redes sociales, etc. Los llamados “nativos digitales” están llamados al aburrimiento y a un potencial fracaso educativo si la infraestructura del aula, el profesor y los contenidos no se adaptan a las tecnologías conocidas por el alumno, en las cuales él se pueda encontrar más cómodo en su proceso de aprendizaje.

Pero, no toda implantación tecnológica y migración a contenidos interactivos y plataformas de auto-aprendizaje se está haciendo de manera correcta, por ende, es de vital importancia implementar una metodología correcta de captación y análisis de los resultados.

En el presente trabajo proponemos en base a una serie de errores típicos en los estudios científicos, definir una metodología de evaluación en el proceso de implantar un modelo de enseñanza colaborativa e interactiva concreto. El fin es alejarnos de la “típica clase magistral” proponiendo al alumno la utilización de tecnología móvil, aplicaciones colaborativas y una metodología que no solo genere un interés elevado por parte del alumno sino que a su vez permita conseguir las competencias y objetivos de la materia en cuestión optimizando el grado de satisfacción del proceso no solo del alumno sino también del profesor.

Para conseguir nuestros propósitos hemos definido una tarea concreta a realizar en la asignatura de Sistemas de Representación del grado de Arquitectura La Salle, Universitat Ramon Llull. La tarea consiste en el uso de la Realidad Aumentada (RA) para visualizar en 3D y mejorar la capacidad del alumno en la explicación del proyecto arquitectónico. Así mismo el proceso agiliza, complementa y puede llegar a sustituir parcialmente el uso de maquetas físicas, permitiendo en nuestro caso una exposición virtual de los trabajos mediante el uso de las redes sociales y el Blogging La Salle (<http://blogs.salleurl.edu/>), consiguiendo no solo los objetivos del curso sino también aumentar la repercusión del proyecto.

Los objetivos principales de nuestro experimento son principalmente dos: por un lado, definir una metodología 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. Y por otro lado, pretendemos definir una metodología estadística de análisis de los resultados que se adapte a una muestra pequeña de usuarios, reduciendo los errores de sesgo típicos en cualquier investigación multidisciplinar donde el objetivo de estudio descuida el universo muestral y generando de manera inconsciente dicho problema.



## II. DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

### A. El diseño de test en el ámbito docente

En la experimentación e investigación de hipótesis científicas en base a la respuesta del usuario, un aspecto fundamental radica en el correcto diseño y uso del llamado “test de usuario” o “encuesta de perfil” que permita la extracción de los datos a estudiar. Un error habitual es la simplificación de estos estudios al concepto de “usabilidad”, como definición que enlaza la facilidad de uso o interacción de un dispositivo físico o virtual con un usuario del mismo y sus capacidades humanas básicas [1]. Es por ello, que podemos afirmar la dificultad existente en establecer formas correctas y adaptadas según el ámbito de estudio para probar, medir, evaluar y comparar resultados cuantificables sobre la experiencia del usuario. Estos procesos demandan definir métodos, métricas, procesos y herramientas para la medición que se adapten a cada experimento [2].

En el ámbito docente, la tipología de test a emplear tiene habitualmente como objetivo principal, valorar la usabilidad de nuevos procesos didácticos del proyecto formativo. Este enfoque significa que el tipo de preguntas deben estar orientadas a la metodología docente y no al proyecto en sí mismo, ya que la evaluación del proyecto se realiza con cuestionarios específicos relativos al mismo. De esta forma, y en función del método de formación y de los resultados obtenidos será posible reflexionar y cuestionar las hipótesis iniciales y revisar una implantación más eficaz de cómo los métodos docentes pueden incorporar las nuevas tecnologías de forma favorable.

En el diseño de encuestas para modelar la respuesta de implantación de una tecnología o tipos de ellas en los recursos docentes universitarios en función del perfil de usuario, destacan aquellas centradas en medir la eficiencia y la eficacia del curso, así como la opinión y grado de satisfacción y preferencias de los estudiantes [3].

Los parámetros más habituales que debemos tener en cuenta para evaluar un nuevo enfoque tecnológico en ámbitos docentes y siempre que nos centremos en el perfil del estudiante son el grado de conocimiento de las nuevas tecnologías, el uso dado de las redes sociales, aplicaciones informáticas conocidas, dispositivos que utilizan y su conocimiento del contenido teórico objeto del programa del curso. En nuestro caso nos hemos centrado en la aplicación de la realidad aumentada en la mejora docente, por otro lado ampliamente documentada en todo tipo de aplicaciones y modos de implantación [4], [5], [6], [7].

### B. Selección de la muestra

Es fácil encontrar estudios, y probablemente tanto nosotros mismos como cualquier lector de este trabajo confirmarán, en los que a partir de un universo sesgado de usuarios se extrapolan los resultados a un universo general. Lógicamente esta práctica está normalizada y aceptada por la imposibilidad de trabajar siempre con muestras del 100% de un universo definido de usuarios.

No obstante, la selección de una muestra representativa que refleje un comportamiento generalizado es una cuestión mucho

más peliaguda [8]. Habitual y especialmente en los trabajos de investigación realizados en entornos universitarios encontramos una problemática en la selección de la muestra de estudio, la cual suele estar compuesta por estudiantes universitarios del centro, o de la rama de conocimientos más cercana al investigador o grupo que publica el trabajo (siendo innumerables las posibles referencias en las que basamos esta afirmación, así como especialmente destacable en los estudios psicológicos [9][10], y con ejemplos tan heterogéneos como los estudios religiosos [11]). Dicha muestra suele estar compuesta por jóvenes entre los 18 y los 28 años (periodo universitario), habitualmente compensados por sexos, de una procedencia más o menos uniforme (mismo país o región), y un estrato social también habitualmente homogéneo (ya que podríamos afirmar que el acceso a un determinado centro universitario suele estar condicionado a un nivel académico y económico, aspecto que diferencia a los alumnos de centros o facultades diferentes).

Este aspecto debe ser tenido en cuenta en el estudio y análisis de cualquier test en la implantación tecnológica en el ámbito educativo ya que no será lo mismo realizar dicha acción en un entorno con alumnos de clase media/alta en una zona geográfica con capacidad para adquirir y usar dichos dispositivos o aplicaciones que por el contrario hacer el mismo proyecto de implantación tecnológica en un área geográfica o facultado o entorno cuyos estudiantes no hayan podido tener esa “experiencia previa”, generándose lo que se define como brecha digital. En dicha línea y con el objetivo de definir muestras de estudio lo más compensadas posibles y válidas, podemos encontrar diversas iniciativas [12][13], centradas en la selección de muestras para estudios universitarios.

En el caso de estudios de implantación tecnológica en el ámbito universitario (caso que nos ocupa), la selección es más fácil que en el caso de estudios más generalistas, como pueden ser los ensayos médicos, psicológicos o relacionados con el mundo de la comunicación. En dichas investigaciones, y como sucede en el ámbito tecnológico cuando debemos utilizar usuarios para testear cualquier hipótesis, el diseño de la muestra a estudiar es de vital importancia para no cometer errores de apreciación: No sería válido utilizar tan solo estudiantes universitarios, sino que debiéramos diseñar una población que abarque toda la gama de edades, género, procedencia o estudios en los que estemos interesados en sacar lecturas concluyentes. Las diferencias culturales [14][15], de edad [16][17] o de género [18][19], aparte de estar ampliamente documentadas, podemos afirmar que inciden en diversos aspectos personales y por consiguiente en su respuesta delante de un estímulo cualquiera a evaluar (desde la capacidad verbal, personalidad, sexualidad, capacidad de adoptar riesgos e incluso en sus habilidades técnicas [20]).

### C. Evaluación de los resultados

Aunque tratado a parte respecto el apartado anterior, la evaluación de resultados y el diseño de la muestra poblacional, son conceptos que no podemos desligar y que de hecho, debemos trabajar conjuntamente: En función de la muestra el tipo de análisis será diferente, y en función del estudio a realizar, la muestra y el análisis quedarán condicionadas.

La fiabilidad de un estudio no depende de una manera cuantitativa del número de muestras que se tomen (por ejemplo cuando hacemos un test o encuesta para comprobar una hipótesis), sino de lo que se desvía la media de los resultados de la hipótesis nula (es decir de la ausencia de verdad, o lo que llamamos el centro de la distribución). Así mismo y para el caso de pequeños grupos de trabajo ( $n < 30$ ), se hace vital definir metodologías de análisis que permitan extrapolar resultados y validar las hipótesis de estudio [21][22][23].

En estos casos de pocas muestras, las valoraciones extremas (tanto positivas como negativas), nos generarán altos valores de significación estadística (bajos valores de  $p$ ) porque se alejarán de la hipótesis nula o lo que coloquialmente podríamos definir como respuestas ambiguas.

Teniendo en cuenta dichos conceptos y el número bajo de muestras con las que previsiblemente trabajaremos, es necesario recordar que la distribución de Student tiende precisamente a la distribución normal cuando el número de datos es grande o muy grande [24]. En principio es más conveniente utilizar la *t de Student* cuando el número de datos es menor o de orden cercano a 30 (aspecto que se estima como una población pequeña), para no usar la normal que no sería adecuada en estos casos.

Teniendo en cuenta la variable  $T$  y la forma de su distribución (de campana entorno al cero de la variable), un alto valor de  $p$  se consigue cuando estamos alejados de la media de la población, influyendo directamente el número de encuestados (a través de los grados de libertad), y la desviación estándar de la muestra: donde para tener una buena significación estadística que confirme hipótesis de trabajo, la desviación estándar debe ser pequeña, ya que si hay mucha dispersión en los datos influiría negativamente.

No obstante, existen corrientes de opinión que en los últimos tiempos [25], han discutido el correcto uso e interpretación de los métodos estadísticos y el uso dado al valor  $p$  (significación estadística) [26].

Esta controversia se generaliza cuando el tamaño de las muestras hace peligrar las afirmaciones y validaciones de las hipótesis de estudio [27]. En dichas situaciones, podemos encontrar recomendaciones que indican la utilidad y necesidad de combinar diversos métodos para afinar las posibles conclusiones [28]. En nuestro caso, y como posteriormente detallaremos, utilizaremos una combinación del trabajo con el valor  $p$  y los intervalos de confianza [29], de manera que solo aquellos resultados que sean comunes a los dos métodos, serán los que nos permitan extrapolar la validez de las respuestas obtenidas para otros ámbitos de implementación.

### III. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

La evaluación de los efectos de implementación de cualquier tecnología, así como de cualquier proyecto, se basa en la comparación entre la experiencia de uso de métodos tradicionales (grupo de control) y nuevas experimentaciones tecnológicas. En nuestro caso, el mismo grupo de estudiantes desarrollará los contenidos de la experiencia y evaluará de forma comparativa los resultados mediante un test en el inicio y otro al final del proyecto, una vez utilizada la tecnología de realidad aumentada. La hipótesis de trabajo en la generación de

un test de este tipo, se basa en que el uso de la realidad aumentada mejora el rendimiento en la comprensión espacial del alumno, siendo útil evaluar hasta qué nivel estos métodos son capaces de complementar o sustituir métodos tradicionales como las maquetas físicas.

La propuesta de estudio de usabilidad se llevará a cabo en diversas asignaturas del año académico 2011-12, 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 será un cuestionario que se facilitará a los participantes en formato papel. Las preguntas de eficacia y eficiencia se han creado utilizando una escala tipo Likert, según la cual, a la pregunta el encuestado le asignará 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 [30].

La escala de Likert es la escala más utilizada en la investigación de los medios masivos, donde cada opción es valorada y las respuestas de cada encuestado son sumadas para obtener una puntuación única sobre un tema [31]. Consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se pide la reacción de los encuestados eligiendo uno de los cinco criterios indicados en la siguiente tabla:

TABLE I. ESCALA DE LIKERT.

Valor	Equivalencia
1	Totalmente desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4	De acuerdo
5	Totalmente de acuerdo

#### A. Cronología de trabajo

El tipo de formación tiene como objetivo desarrollar habilidades para que los alumnos de arquitectura presenten sus proyectos con nuevas herramientas que aplican la tecnología de la realidad aumentada. 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 está 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 realiza en dos sesiones de 5 horas. Estas sesiones están repartidas en dos ejercicios cada una, haciendo un total de cuatro prácticas. Éstas se componen de una explicación teórica de introducción al ejercicio y metodología. En cada práctica los alumnos deben presentar los resultados al conjunto de la clase para su discusión.



<b>OPINION DE LOS RESULTADOS</b>	
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	¿Crees que las sesiones realizadas cumplen la finalidad para la que han sido diseñadas? (conocer aplicaciones de RA en Arquitectura)
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	El sistema de Realidad Aumentada, utilizado en las sesiones es agradable de usar.
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	Las sesiones realizadas con Realidad Aumentada ¿te parecen útiles para mejorar la presentación de proyectos?
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	Para realizar estos contenidos, ¿podrías haber trabajado de forma autónoma? Es decir, sin necesidad de asistencia del profesor.
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	¿Crees que es necesario material teórico adicional para realizar los ejercicios de las sesiones?
¿Dónde preferirías realizar los ejercicios planteados en RA? <input type="checkbox"/> En el aula <input type="checkbox"/> En casa <input type="checkbox"/> Otra	
¿Como valoras la tecnología de Realidad Aumentada para trabajar con modelos tridimensionales? <input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Aceptable <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/> Muy mala	
La tecnología de Realidad Aumentada me parece.... <input type="checkbox"/> Muy interesante <input type="checkbox"/> Interesante <input type="checkbox"/> Poco interesante	
<input type="checkbox"/> Muy Original <input type="checkbox"/> Original <input type="checkbox"/> Poco Original	La tecnología de Realidad Aumentada me parece....
<input type="checkbox"/> Muy útil <input type="checkbox"/> Util <input type="checkbox"/> Poco útil	La tecnología de Realidad Aumentada me parece....
<input type="checkbox"/> Estimulante <input type="checkbox"/> Termino medio <input type="checkbox"/> Frustrante	La tecnología de Realidad Aumentada me parece....
<input type="checkbox"/> Flexible <input type="checkbox"/> Termino medio <input type="checkbox"/> Rígida	La tecnología de Realidad Aumentada me parece....
<b>Opinión Global de las sesiones de Realidad Aumentada:</b> <input type="checkbox"/> Excelente <input type="checkbox"/> Buena <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Mala <input type="checkbox"/> Muy Mala	
<b>OPINIÓN PARA EL FUTURO</b>	
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	¿Crees que el uso de herramientas tridimensionales puede mejorar tu atención y motivación para el desarrollo de los contenidos de la asignatura de Proyectos?
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	¿Crees adecuado impartir cursos intensivos a los estudiantes para mejorar las Técnicas de representación?
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	¿Habrías preferido este curso basado exclusivamente en maquetas?
¿En que otro soporte te hubiera gustado realizar este curso? <input type="checkbox"/> Dibujar a mano <input type="checkbox"/> Programa de ordenador <input type="checkbox"/> Teléfono móvil <input type="checkbox"/> Por Internet en casa <input type="checkbox"/> Ninguna anterior	
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	Si pudieras tocar y manipular las piezas físicamente o en el ordenador para rotarlas, girarlas...¿Crees que te habría ayudado mejor a visualizar la pieza?
<input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> N	¿Crees adecuado impartir cursos intensivos a los estudiantes para mejorar los conocimientos de la tecnología de Realidad Aumentada aplicada a proyectos?

#### IV. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo hemos revisado, ordenado y conceptualizado tres aspectos básicos en la investigación centrada en la docencia universitaria como son el diseño de test en función de la temática a evaluar (en nuestro caso 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 y 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 reducirán los clásicos errores de sesgos que en los trabajos con muestras de usuarios son típicamente observables en múltiples estudios científicos.

La propuesta metodológica diseñada, se ha comenzado a implementar en el curso académico 2011-2012, siendo en el segundo semestre cuando se obtendrán resultados en la asignatura de Sistemas de Representación del grado de Arquitectura de La Salle (Campus Tarragona) que se compararán con la metodología tradicional usada en el Campus de Barcelona.

De las primeras muestras cualitativas realizadas, se ha observado que el diseño de encuestas propuestas es consistente y permite analizar sin problemas cualquier tipo de tecnología que se pretenda implementar en docencia a partir del estudio del perfil de usuario de los alumnos. La encuesta ha sido implementada digitalmente bajo el soporte Moodle utilizado como Intranet de la facultad sin ningún tipo de contratiempo, permitiendo una gestión rápida y precisa de los resultados, de manera que podemos concluir que se han conseguido con éxito los objetivos iniciales del proyecto: generación de una plataforma que permita evaluar tanto el perfil de usuario como la implantación de novedades docentes ligadas al uso de tecnología en la formación especializada ligada a los grados universitarios.

Los resultados esperados (hipótesis de trabajo en futuros trabajos), parten del concepto ideológico que el uso de la tecnología como soporte docente y siempre que esta tecnología sea afín al usuario (conocida y previamente utilizada de manera personal o con fines lúdicos), no solo mejorará el interés y seguimiento de las materias por parte del alumno sino que su progreso académico será más rápido y satisfactorio.

Es necesario recordar que estamos delante de un trabajo cuya principal pretensión no es la evaluación de las capacidades de un software determinado, sino en qué medida podemos discernir el perfil del alumno y su capacidad adaptativa delante de una nueva metodología de formación. Para ello partimos de la hipótesis social previa que los alumnos son usuarios habituales de tecnología ligada sobre todo a la comunicación y aunque no sea el caso, el nivel a partir del cual se parte en la implantación de las tecnologías a evaluar debe ser siempre desde cero.

Estamos delante de unas tecnologías que aplicadas específicamente en el campo de la arquitectura deben llevar a un cambio en el paradigma de presentación, visualización y comprensión del proyecto arquitectónico. El uso y aprendizaje



de las posibilidades que ofrece la realidad aumentada 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. Es por estos motivos que podemos afirmar que estamos delante de una revolución docente ligada a una revolución tecnológica en el plano de la visualización, todo ello teniendo en cuenta aspectos tan relevantes como los perfiles propios de los usuarios (tanto alumnos como profesores).

#### REFERENCES

- [1] Nielsen, J. Usability Laboratories: A 1994 survey. Usability Labs survey. Behaviour & Information Technology vol. 13. 1994.
- [2] Xperience Consulting, La medición de usabilidad: una ventaja competitiva. Disponible en [www.xperienceconsulting.com/imagenesup/whitepaper\\_testea\\_evalua\\_y\\_decide.pdf](http://www.xperienceconsulting.com/imagenesup/whitepaper_testea_evalua_y_decide.pdf), Consultado Nov. 2009.
- [3] Martín-Gutiérrez, J. Estudio y evaluación de contenidos didácticos en el desarrollo de las habilidades espaciales en el ámbito de la ingeniería, *Tesis doctoral*, 2010, pp. 690-691.
- [4] Kaufmann, H., Dünser, A., Summary of Usability Evaluations of an Educational Augmented Reality Application, *HCI International Conference*, Peking, 2007, Vol 14, LNCS 4563, pp. 660-669.
- [5] Green, S., Chase, G., Chen, X., Billinghurst, M. Evaluating the Augmented Reality Human-Robot Collaboration System. *15<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, IEEE Computer Press*, 2008, pp. 548-553.
- [6] Seokhoe, J., Hyeongseop, S., Gerard, J.K., Viewpoint Usability for Desktop Augmented Reality, *International Journal of Virtual Reality*, Vol 5, (3), 2006, pp. 33-39.
- [7] Henderson, S., Feiner, S., Evaluating the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret, *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '09)*, 2009, pp.135-144.
- [8] Heckman, J. J., Sample selection bias as a specification error, *Econometrica, Journal of the Econometric Society* 47, 1979, pp.153-161.
- [9] Schaefer, A., Nils, F., Sánchez, X. Philippot, P., Assessing the effectiveness of a large database of emotion-eliciting films: A new tool for emotion researchers, *Cognition & Emotion*, 24 vol.7, 2010, pp.1153-1172.
- [10] Gross, J.J., Levenson, R.W., Emotion Elicitation Using Films, *Cognition and Emotion*, 9 vol.1, 1995, pp.87-108.
- [11] Wollf, M.R., The interaction of students' scientific and religious discourses: two case studies, *International Journal of Science Education*, 19 vol.2, 1997, p.125-146.
- [12] Hampton-Reeves, S., Mashlter, C., Westaway, J., Lumsolen, P., Day, H., Hewertson, H., Hart, A., Students' Use of Research Content in Teaching and Learning. *Joint Information Systems Council (JISC)*, 2009.
- [13] Regulatory Services, Guidance for enrolling University Students as Research Subjects & Using Student Subject Pools, *University of Texas*, 2005.
- [14] Mesquita, B., & Walker, R., Cultural differences in emotions: a context for interpreting emotional experiences. *Behaviour Research and Therapy*, 41 vol.7, 2003, pp. 777-793.
- [15] Matsumoto, D., & Ekman, P., American-Japanese cultural differences in intensity ratings of facial expressions of emotion. *Motivation and Emotion*, 1989.
- [16] Fredrickson, W.E., Clifford, K.M., Emotional Differences Between Early and Late Degree Program Music Teacher Education Students Using a Concise Emotional Inventory *Applications of Research in Music Education November*, 2010, 29 pp.33-39.
- [17] Richter, D., Dietzel, C., Kunzmann, U., Age differences in emotion recognition: the task matters. *The journals of gerontology Series B Psychological sciences and social sciences*, 2011, 66 vol.1, pp.48-55.
- [18] <http://www.education.com/topic/gender-differences/>
- [19] Hyde, J.S., Fennema, E., Lamon, S.J., Gender differences in mathematics performance: A meta-analysis, *Psychological Bulletin*, 1990, 107 vol. 2, 1990, pp. 139-155.
- [20] Gefen, D., Straub, D.W., Gender Differences in the Perception and Use of E-Mail: An Extension to the Technology Acceptance Model, *MIS Quarterly*, 21 vol.4, 1997, pp.389-400.
- [21] Bono, R., Arnau, J., Diseños de muestras pequeñas: análisis por mínimos cuadrados generalizados, *Psicothema*, 12 vol.2, 2000, pp.87-90.
- [22] Cheryl, L. M., Jonas, R. L., Brian, P. C., McNeil, A.J., Improving Science Education and Understanding through Editing Wikipedia *Journal of Chemical Education*, 2010 87 vol.11, pp.1159-1162.
- [23] Mareca, P.; Bosch, V.A., Editing the Wikipedia: Its role in science education," *Information Systems and Technologies (CISTI), 2011 6th Iberian Conference on*, pp. 15-18.
- [24] Fonseca, D., García, O., Pifarré, M., & Villegas, E., User Experiences and Differences in Viewing Architectural Images with Various Interfaces, *International Journal of Creative Interfaces and Computer Graphics (JCICG)*, 2011, 2 vol.2, pp.1-22.
- [25] Lourerío, E.F., García, P., Métodos estadísticos y valor P (P-value): Historia de una controversia, *Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Investigaciones en Administración, Contabilidad y Matemática. Sección de Investigaciones en Matemática (Estadística y Econometría)* 2007.
- [26] Castro, M. S., Aycaguer, L.C.S., Las pruebas de significación estadística en tres revistas biomédicas: una revisión crítica. *Rev Panam Salud Publica*, 2004, 15 vol. 5, pp.300-306.
- [27] Navarro, M.D., Llobell, J.P., García, J.F., Tamaño del efecto del tratamiento y significación estadística, *Psicothema*, 2000. 12, vol 2, pp. 236-240.
- [28] Young, M. A. Supplementing tests of statistical significance: Variation accounted for. *Journal of Speech and Hearing Research*, 2003, 36, pp.644-656.
- [29] Clark M.L., Los valores de P y los intervalos de confianza. *Rev Panam Salud Publica*, 2004, 15 vol.5, pp.293-296.
- [30] Brooke, J., SUS: a "quick and dirty" usability scale, *Usability Evaluation in Industry, PW Jordan, B Thomas, BA Weerdmeester, AL McClelland (eds.)*, London: Taylor and Francis, 1996.
- [31] Wimmer, R.D., Dominick, J.R. Mass media research: An introduction. *Boston, MA: Wadsworth Cengage Learning*. 2011. 9th Edition.

# Uso de la Realidad Aumentada como Plataforma Educativa en la Visualización Arquitectónica

Evaluación del Grado de Satisfacción y Usabilidad por parte del Alumnado

David Fonseca, Nuria Martí  
Arquitectura La Salle  
Universitat Ramon Llull  
Barcelona, Spain  
{fonsi, nmarti}@salle.url.edu

<sup>1</sup>Isidro Navarro, <sup>2</sup>Ernest Redondo, <sup>3</sup>Albert Sánchez  
Universidad Politécnica de Cataluña - Barcelona Tech.  
Barcelona, Spain  
<sup>1,2</sup>{isidro.navarro, ernesto.redondo}@upc.edu  
<sup>3</sup>asri@telefonica.net

**Abstract**— En el presente artículo analizamos los resultados obtenidos en la implantación de nuevas tecnologías en el ámbito docente de la visualización de proyectos arquitectónicos. A partir de la evaluación del perfil tecnológico de los alumnos, se ha propuesto el uso de diversos sistemas de Realidad Aumentada para la visualización mediante dispositivos móviles de distintos proyectos realizados en el grado de Arquitectura. El objetivo principal es evaluar si la metodología propuesta mejora el proceso de aprendizaje del alumno generando una respuesta de uso satisfactoria.

**Keywords:** *Realidad Aumentada; Estudios de Usuario; Educación; Arquitectura; Visualización.*

## I. INTRODUCCION

La mejora de la docencia es un campo en constante estudio y evolución, y al igual que sucede con otras áreas como la comunicación o el entretenimiento, ninguna de ellas están exentas de quedar ligadas a la evolución tecnológica. Los desarrollos tecnológicos están modelando día a día cómo la sociedad se relaciona, comunica, entretiene o aprende.

Internet, las redes sociales, los “Smartphone” y las tabletas de última generación, son tan solo algunos de los dispositivos o sistemas que están cambiando la forma de ver e interactuar con nuestro entorno. Ya sea para los momentos de ocio, para solucionar tareas de trabajo, o simplemente para comunicarse, estos sistemas han cambiado la sociedad actual, especialmente en los países desarrollados.

Partiendo de la anterior afirmación, la docencia y los procesos educativos no pueden quedarse anclados en el pasado. El nuevo espacio educativo europeo propugna nuevos modelos de docencia colaborativa que generen una mayor capacidad de auto-aprendizaje en el alumno, huyendo en la medida de lo posible de las clásicas “lecciones magistrales”. Pero estos ideales son de difícil implantación ya que gran parte del profesorado se ha formado en una era pre-tecnológica lo cual acentúa la brecha entre docentes y alumnos, también llamados “nativos digitales”[1], denominación debida a que desde su nacimiento han convivido con todo tipo de tecnologías tanto en el hogar como en la escuela.

En el presente artículo se analizan los resultados de una propuesta educativa centrada en el uso de los dispositivos móviles de los alumnos (teléfonos o tabletas) en la visualización 3D de proyectos arquitectónicos mediante Realidad Aumentada (RA) y enlazando información asociada a los mismos mediante códigos QR (*Quick Response*).

El objetivo principal del estudio es evaluar el grado de satisfacción y adaptación del alumno al uso de dichas tecnologías en su formación académica y respecto su perfil tecnológico. Trabajamos con la hipótesis inicial que el uso de tecnología amigable (del término inglés “*user friendly*” [2]), aporta un interés adicional por la materia, agilizando y mejorando la comprensión de los temas propuestos.

Para llevar a cabo el análisis de nuestros resultados y ver en qué medida se adecuaban a los objetivos propuestos, hemos realizado una revisión de metodologías previas [3], las cuales hemos adaptado al enfoque de nuestra investigación, con el fin de obtener resultados estadísticamente significativos.

## II. ESTUDIOS DE USUARIO EN EL ÁMBITO DOCENTE

En la experimentación e investigación de hipótesis científicas en base a la respuesta del usuario, un aspecto fundamental radica en el correcto diseño y uso del llamado “test de usuario” o “encuesta de perfil” que permita la extracción de los datos a estudiar. Un error habitual es la simplificación de estos estudios al concepto de “usabilidad”, como definición que enlaza la facilidad de uso o interacción de un dispositivo físico o virtual con un usuario del mismo y sus capacidades humanas básicas [4]. Es por ello, que podemos afirmar la dificultad existente en establecer formas correctas y adaptadas según el ámbito de estudio para probar, medir, evaluar y comparar resultados cuantificables sobre la experiencia del usuario. Estos procesos demandan definir métodos, métricas, procesos y herramientas para la medición que se adapten a cada experimento [5].

Estos conceptos que son tenidos en cuenta de manera sistemática en el ámbito profesional de los estudios de usuario, de accesibilidad, o de usabilidad de cualquier tipo de aplicación informática o dispositivo físico, muchas veces se descuidan cuando lo que se evalúa es la respuesta de un estudiante a una encuesta determinada fruto de cualquier proyecto o trabajo de

investigación. Un error clásico es preparar preguntas que corroboren las hipótesis de estudio sin tener en cuenta que el diseño de la encuesta cumpla unos mínimos formales.

Si nos centramos en el ámbito docente, la tipología de test a emplear tiene habitualmente como objetivo principal la valoración de la usabilidad de nuevos procesos didácticos del proyecto formativo. Este enfoque significa que el tipo de preguntas deben estar orientadas a la metodología docente y no al proyecto en sí mismo, ya que la evaluación del proyecto se realiza con cuestionarios específicos relativos al mismo. De esta forma, y en función del método de formación y de los resultados obtenidos será posible reflexionar y cuestionar las hipótesis iniciales y revisar una implantación más eficaz de cómo los métodos docentes pueden incorporar las nuevas tecnologías de forma favorable.

En el diseño de encuestas para modelar la respuesta de implantación de una tecnología o tipos de ellas en los recursos docentes universitarios en función del perfil de usuario, destacan aquellas centradas en medir la eficiencia y la eficacia del curso, así como la opinión y grado de satisfacción y preferencias de los estudiantes [6].

Los parámetros más habituales que debemos tener en cuenta para evaluar un nuevo enfoque tecnológico en ámbitos docentes y siempre que nos centremos en el perfil del estudiante son el grado de conocimiento de las nuevas tecnologías, el uso dado de las redes sociales, aplicaciones informáticas conocidas, dispositivos que utilizan y su conocimiento del contenido teórico objeto del programa del curso. En nuestro caso nos hemos centrado en la aplicación de la realidad aumentada en la mejora docente, por otro lado ampliamente documentada en todo tipo de aplicaciones y modos de implantación [7] [8] [9] [10].

#### A. *Evitando un error clásico: la selección de la muestra*

Es fácil y lógico encontrar estudios en los que se extrapolan los resultados a una población general a partir de una muestra reducida, siendo una cuestión delicada y fruto de errores que habitualmente no se tienen en cuenta aunque afectan a las valoraciones obtenidas [11].

Cuando las investigaciones se realizan en centros universitarios se recurre de manera sistemática a los alumnos de asignaturas ligadas a un determinado entorno docente, estudiantes universitarios vinculados a una rama de conocimiento cercana al investigador o grupo que publica el trabajo, siendo innumerables las posibles referencias en las que basamos esta afirmación, así como especialmente destacable en los estudios psicológicos [12][13], y con ejemplos tan heterogéneos como los estudios religiosos [14], o casi seguro algunos de nuestros propios estudios).

Estas muestras suelen estar compuestas por jóvenes entre los 18 y los 28 años (periodo universitario), habitualmente compensados por sexos (pero no siempre, caso habitual según la carrera, no es lo mismo trabajar con estudiantes de un grado en ingeniería donde habitualmente la mayoría son hombres, que en psicología donde la tendencia en este caso serían mujeres), de una procedencia más o menos uniforme (mismo país o región), y un estrato social también habitualmente homogéneo (ya que podríamos afirmar que el acceso a un

determinado centro universitario suele estar condicionado a un nivel académico y económico, aspecto que diferencia a los alumnos de centros o facultades diferentes).

Este aspecto debe ser tenido en cuenta en el estudio y análisis de cualquier test en la implantación tecnológica en el ámbito educativo ya que no será lo mismo realizar dicha acción en un entorno con alumnos de clase media/alta en una zona geográfica con capacidad para adquirir y usar dichos dispositivos o aplicaciones que por el contrario hacer el mismo proyecto de implantación tecnológica en un área geográfica o facultado o entorno cuyos estudiantes no hayan podido tener esa “experiencia previa”, generándose lo que se define como brecha digital. En dicha línea y con el objetivo de definir muestras de estudio lo más compensadas posibles y válidas, podemos encontrar diversas iniciativas [15][16], centradas en la selección de muestras para estudios universitarios.

En el caso de estudios de implantación tecnológica en el ámbito universitario (caso que nos ocupa), la selección es más fácil que en el caso de estudios más generalistas, como pueden ser los ensayos médicos, psicológicos o relacionados con el mundo de la comunicación, siempre y cuando no acotemos el campo de estudio. Para nuestro trabajo y cómo el objetivo es evaluar la adaptación del alumno a la inclusión de determinada tecnología, no influyen tanto aspectos como la edad, el sexo o la procedencia pero sí el grado de experiencia previa en el uso de las tecnologías a evaluar, siendo por dicho motivo necesario la realización previa de una encuesta para evaluar el perfil de los usuarios.

Mientras, en cualquier investigación más generalista el diseño de la muestra a estudiar es de vital importancia para no cometer errores de apreciación: No sería válido utilizar tan solo estudiantes universitarios, sino que debiéramos diseñar una población que abarque toda la gama de edades, género, procedencia o estudios en los que estemos interesados en sacar lecturas concluyentes. Las diferencias culturales [17][18], de edad [19][20], o de género [21][22], aparte de estar ampliamente documentadas, podemos afirmar que inciden en diversos aspectos personales y por consiguiente en su respuesta delante de un estímulo cualquiera a evaluar (desde la capacidad verbal, personalidad, sexualidad, capacidad de adoptar riesgos e incluso en sus habilidades técnicas [23]).

#### B. *Realidad Aumentada y códigos bidimensionales*

La aparición, popularidad y cada vez más fácil acceso de los usuarios en general a teléfonos con cámara y prestaciones multimedia de conexión a Internet, así como más recientemente a las tabletas multimedia independientemente del sistema operativo con el que trabajan, ha generado una eclosión mundial en el uso de los códigos bidimensionales en cualquier ámbito social.

Se ha pasado de un uso industrial en procesos de almacenamiento y etiquetaje a un uso general en cualquier ámbito, especialmente en publicidad y ocio como podemos ver en la siguiente figura:



Figura 1.- Ejemplos de uso de los códigos QR.

Estos grafismos reciben el nombre de códigos QR (Quick Response Codes) o códigos BIDI (Bidimensionales), siendo sus principales ventajas respecto los tradicionales códigos de barra (ver Fig.2) su capacidad para almacenar una mayor información de diversos tipos, protección anti-errores (Fig. 3), fácil generación (Fig. 4), y multitud de opciones de consulta, impresión y personalización.

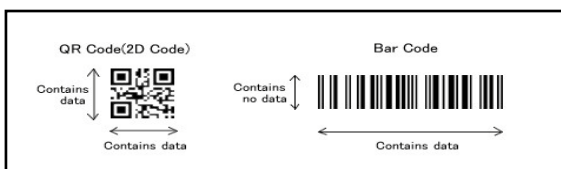


Figura 2.- Comparación entre código QR y código de barras [24].

	QR Code	PDF417	DataMatrix	Maxi Code
Developer(country)	DENSO(Japan)	Symbol Technologies (USA)	RVSI Acuity CiMatrix (USA)	UPS (USA)
Type	Matrix	Stacked Bar Code	Matrix	Matrix
Numeric	7,089	2,710	3,116	138
Data Alphabetic	4,296	1,850	2,355	93
capacity Binary	2,953	1,018	1,556	
Kanji	1,817	554	778	
Main features	Large capacity, small printout size, High speed scan	Large capacity	Small printout size	High speed scan
Main usages	All categories	OA	FA	Logistics
Standardization	AIM International, JIS, ISO	AIM International, ISO	AIM International, ISO	AIM International, ISO

Figura 3.- Características principales de los códigos BIDI [24].



Figura 4.- Ejemplo de generación de un código QR [25].

Una variación del código QR es el utilizado por programas de RA. Las llamadas “marcas”, no son más que códigos bidimensionales, habitualmente más simples, que mediante su scanner visual por la cámara del dispositivo y con la necesidad de tener instalado un determinado programa, este interpreta la

marca previamente almacenada en su sistema y posiciona un modelo 2D, 3D o una información cualquiera (también previamente almacenada en el sistema) encima del mismo, como podemos ver en la siguiente Figura:



Figura 5.- Visualización de un modelo arquitectónico 3D mediante el programa AR-media y su marca correspondiente.

En los últimos años, son muchos los estudios que han demostrado las posibilidades que ofrece esta tecnología en campos tan distintos como la medicina [26], en operaciones de mantenimiento y montaje [27], en turismo [28][29], museos, [30][31], o publicidad y marketing donde las empresas ven la realidad aumentada como una forma de diferenciarse de la competencia dando al usuario la posibilidad de acceder a experiencias visuales sorprendentes [32].

En algunos campos como el de la arqueología y el patrimonio histórico, se ha utilizado para visualizar reconstrucciones virtuales que permitieran explicar una intención, verificar hipótesis, o explicar un hecho histórico fruto de las investigaciones [33].

En el campo de la construcción, ingeniería, y arquitectura, algunos autores sugieren que es viable la introducción de la RA en distintas áreas como el diseño, la excavación, el replanteo, la inspección, la coordinación, o la supervisión de tareas, [34]. Concretamente en el campo de la arquitectura y el urbanismo, puede ser utilizada para predecir el impacto que tendrá una construcción sobre el paisaje [35]. Y en la rehabilitación de edificios, se ha ensayado como herramienta para visualizar mediante dispositivos móviles, y a escala 1:1, la apariencia final de la obra, pudiendo cambiar materiales, colores y texturas [36].

### III. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

El proyecto se ha modelado desde el área de CAD del Departamento de Arquitectura La Salle, campus Barcelona y se ha implementado en el curso académico 2011-2012 en la asignatura de tercer curso del grado de arquitectura: Sistemas de Representación, que se realiza en el campus de Arquitectura La Salle de Tarragona.

Para la realización del proyecto descrito en este artículo, hemos definido una serie de fases que nos deben permitir una obtención adecuada de los resultados y su posterior análisis de cara a comprobar las hipótesis planteadas. Las fases las podemos encontrar descritas en los siguientes apartados:



### A. Definición de las hipótesis de trabajo

El primer aspecto a evaluar es el perfil tecnológico de los alumnos. A priori, estos son habituales usuarios de telefonía móvil, redes sociales e Internet y es necesario conocer el grado de consumo/uso de las mismas, de manera que podamos analizar la implicación que dicho uso conlleva.

Un segundo aspecto a evaluar ligado con el perfil de los estudiantes es el grado de conocimiento previo de la tecnología específica de realidad aumentada, el grado de interés que les suscita dicha tecnología tanto si les es conocida como si no, y en qué medida creen que les pudiera ser útil en sus estudios de arquitectura.

La relación entre las dos hipótesis previas y las relacionadas con el uso específico de la RA en los ejercicios propuestos nos permitirá evaluar si su uso y el grado de satisfacción que conlleva permite modificar la percepción previa de los alumnos.

De manera específica y para evaluar la adaptación de los alumnos al uso de la RA, evaluaremos el grado de satisfacción de la estructura del curso realizada, de los contenidos utilizados y finalmente de la dificultad de realización de los trabajos encargados.

Finalmente se estudiará si tal y como prevemos, el alumno considera el uso de la RA un sistema interesante en la visualización del proyecto arquitectónico, no solo en el caso concreto de esta asignatura sino también en su futuro docente y profesional, así como en qué dispositivo es más adecuado el trabajo con dicha tecnología.

### B. Diseño Metodológico de las encuestas

La encuesta será un cuestionario que se facilitará a los participantes en formato papel. Las preguntas de eficacia y eficiencia se han creado utilizando una escala tipo Likert, según la cual, a la pregunta el encuestado le asignará 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 [37].

La escala de Likert es la escala más utilizada en la investigación de los medios masivos, donde cada opción es valorada y las respuestas de cada encuestado son sumadas para obtener una puntuación única sobre un tema [38]. Consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se pide la reacción de los encuestados eligiendo uno de los cinco criterios indicados en la siguiente tabla:

TABLE I. ESCALA DE LIKERT.

Valor	Equivalencia
1	Totalmente desacuerdo
2	En desacuerdo
3	Ni de acuerdo ni en desacuerdo
4	De acuerdo
5	Totalmente de acuerdo

El diseño final tanto de la encuesta inicial correspondiente al perfil de usuario, como la final de evaluación del curso y la

tecnología, han sido publicadas y son consultables en la 7ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información, Madrid, 2012 [3].

### C. Cronología de trabajo

El tipo de formación tiene como objetivo desarrollar habilidades para que los alumnos de arquitectura presenten sus proyectos con nuevas herramientas que aplican la tecnología de la realidad aumentada. 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 está 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 realiza en dos sesiones de 5 horas. Estas sesiones están repartidas en dos ejercicios cada una, haciendo un total de cuatro prácticas. Éstas se componen de una explicación teórica de introducción al ejercicio y metodología. En cada práctica los alumnos deben presentar los resultados al conjunto de la clase para su discusión.

El diseño de las encuestas se realizó a lo largo del 2011, y los datos mostrados en este artículo se han recogido de los ejercicios llevados a cabo en el primer semestre del curso académico 2011-12 (septiembre-febrero).

### D. Resultados

Para la comprensión de los resultados y los gráficos adjuntados en este apartado debemos indicar que en el eje de las abscisas hemos situado el grado de valoración de cada respuesta: de 1 (menor valoración) a 5 (máxima valoración), según la Tabla 1, del apartado anterior. En el eje de las ordenadas encontramos el número de respuestas obtenidas para cada pregunta las cuales han sido codificadas por colores y agrupadas por figuras según la temática de las mismas.

De los resultados obtenidos de la encuesta realizada a inicio de curso y que nos permite aproximar el perfil tecnológico de los estudiantes podemos extraer los primeros datos que nos reflejan un interés elevado (aproximadamente un 75% de la clase) por la tecnología en general. El 100% de los estudiantes se conectan a Internet tanto en casa como en la universidad, principalmente usando ordenadores portátiles y en menor medida con dispositivos móviles. La conexión más utilizada es del tipo WI-FI (90%), combinada con tipo ADSL (75%). Tan solo el 25% de los estudiantes encuestados trabaja con conexiones 3G a Internet con dispositivos móviles.

Los servicios más empleados son principalmente el correo electrónico (100%), navegadores y descargas (75%) y consultas universitarias relacionadas con arquitectura (100%). El uso de chats, blogs, o consulta de noticias se sitúan en una frecuencia de uso más reducida (sobre el 25%).

Los resultados de esta encuesta de perfil previo nos permiten afirmar que los estudiantes si bien están interesados de partida en las tecnologías, estas las usan principalmente por motivos formativos o de ocio y centradas en el ámbito concreto de las necesidades expuestas, es decir no usan tecnologías que no les son requeridas a priori como podría ser la RA. Veamos a continuación la percepción a priori que tienen sobre dicha tecnología (Figura 5.):

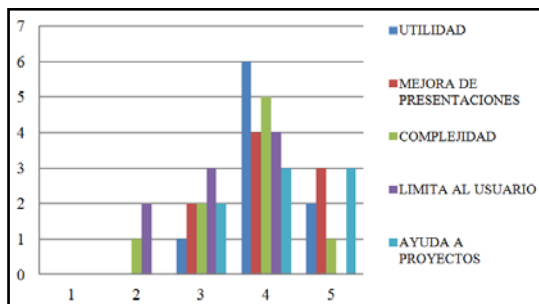


Figura 5.- Resultados de Realidad Aumentada

Los alumnos reflejan una visión inicial de la RA que podríamos resumir como una tecnología compleja de implementar y de cara al usuario final, pero que puede ser útil en la presentación de sus proyectos.

Realizada la experiencia docente, los alumnos fueron preguntados de manera más específica por sus valoraciones en diversos apartados técnicos relacionados con el uso de la RA en la realización de los trabajos solicitados. En la Figura 6., podemos ver los resultados obtenidos en la evaluación del Material de soporte utilizado:

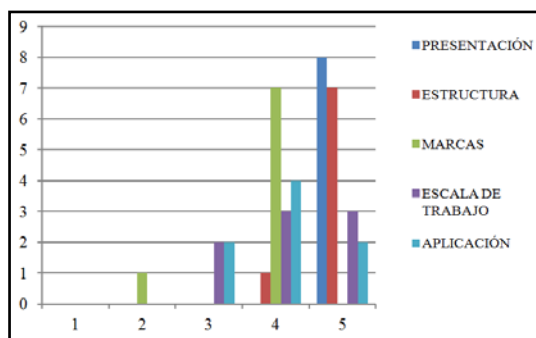


Figura 6.- Resultados del material de soporte.

La respuesta a la interacción de los alumnos con los materiales específicos para la realización del proyecto y su visualización mediante RA la hemos agrupado en la siguiente Figura 7:

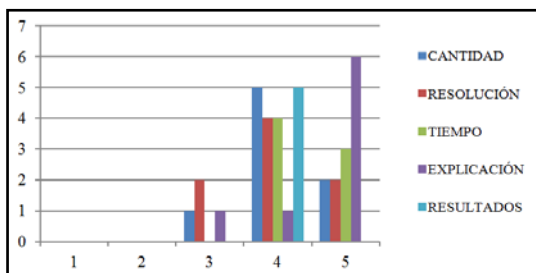


Figura 7.- Resultados de Material

Como podemos observar, de nuevo se obtienen resultados altamente satisfactorios en dicha interacción (mayoría de respuestas puntuadas con 4 ó 5 según la Tabla 1), siendo posiblemente la calidad (resolución) y cantidad de opciones disponibles en la visualización las que podrían quedar más afectadas.

Preguntados de manera genérica por el uso de la RA en la visualización de proyectos arquitectónicos los resultados obtenidos (Figura 8), son los siguientes:

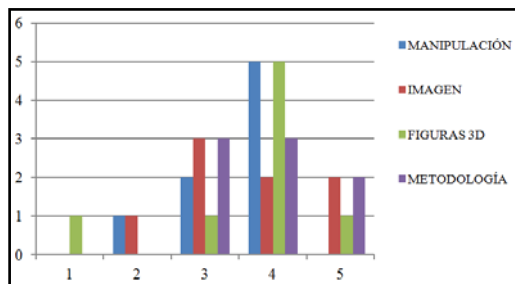


Figura 8.- Resultados de Tecnología RA

Los resultados obtenidos reflejan las peores valoraciones en cuanto a la calidad de la imagen obtenida y en menor medida con un balance más positivo que negativo pero que refleja la necesidad de mejorar en dichos aspectos, la dificultad metodológica de trabajo y manipulación con la RA, así como la visualización de modelos 3D complejos (tipología de objetos en los que el 80% de los alumnos reflejan la necesidad de mejorar la facilidad de uso). Analizando de manera detallada los resultados de las encuestas y los dispositivos utilizados, atribuimos las diferencias obtenidas a dos aspectos principales: las características técnicas diferenciadas entre ordenadores portátiles y teléfonos móviles (dispositivos utilizados), y la experiencia previa de los alumnos en el uso de dicha tecnología, en la mayoría de casos siendo esta su primera experiencia.

#### IV. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

En base a los resultados obtenidos y partiendo del objetivo inicial de estudio que era comprobar si el uso de tecnología conocida por los alumnos en un ámbito docente aportaba un valor añadido y satisfactorio en su proceso educativo, podemos concluir que dicha hipótesis no es del todo concluyente: por un lado se valora positivamente el uso de móviles, portátiles, tabletas, pero al ser en la mayoría de casos la primera experiencia usando técnicas de RA, se ha reflejado una dificultad de usabilidad que afecta a su nivel de satisfacción.

Los alumnos han valorado la experiencia de forma muy positiva, destacando los materiales tanto de soporte como de realización de los ejercicios propuestos, pero se han encontrado con dificultades en los aspectos más destacables de la visualización como son la resolución y calidad de los modelos así como el trabajo interactivo con los proyectos 3D, aspectos puramente tecnológicos.

Finalmente destacar que la experiencia ha generado un interés creciente en los alumnos para seguir usando y ampliando sus conocimientos en el uso de la RA para la visualización e interacción con sus proyectos arquitectónicos.

Dicho aspecto, nos permite afirmar que las tecnologías interactivas y móviles de visualización ligadas especialmente al campo de la realidad aumentada, deberán sustituir o al menos convivir con los sistemas de representación tradicionales como son los paneles impresos y las maquetas.

## REFERENCES

- [1] Nativos Digitales. Niños y jóvenes frente a la tecnología: Internet, videojuegos y móviles. 2007, Consultado Abril 2012, [www.nativos-digitales.net](http://www.nativos-digitales.net).
- [2] Tyson, L. Critical theory today: A user-friendly guide, Garland Pub, New York, 1999.
- [3] Navarro, I., Fonseca, D., Redondo, E., Sánchez, A., Martí, N., Simón, D., Uso de la Realidad Aumentada como Plataforma Educativa en la Visualización Arquitectónica., en Proc. De 7ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnológías de la Información, Madrid 2012. Pp.685-690.
- [4] Nielsen, J. Usability Laboratories: A 1994 survey. Usability Labs survey. Behaviour & Information Technology vol. 13. 1994.
- [5] Xperience\_Consulting, La medición de usabilidad: una ventaja competitiva. Consultado Nov. 2009. [www.xperienceconsulting.com/imagenesup/whitepaper\\_testea\\_ev\\_alua\\_y\\_decide.pdf](http://www.xperienceconsulting.com/imagenesup/whitepaper_testea_ev_alua_y_decide.pdf)
- [6] Martín-Gutiérrez, J. Estudio y evaluación de contenidos didácticos en el desarrollo de las habilidades espaciales en el ámbito de la ingeniería, Tesis doctoral, 2010, pp. 690-691.
- [7] Kaufmann, H., Dünser, A., Summary of Usability Evaluations of an Educational Augmented Reality Application, *HCI International Conference*, Peking, 2007, Vol 14, LNCS 4563, pp. 660-669.
- [8] Green, S., Chase, G., Chen, X., Billingham, M. Evaluating the Augmented Reality Human-Robot Collaboration System. *15th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice, IEEE Computer Press*, 2008, pp. 548-553.
- [9] Seokhoe, J., Hyeongseop, S., Gerard, J.K., Viewpoint Usability for Desktop Augmented Reality, *International Journal of Virtual Reality*, Vol 5, (3), 2006, pp. 33-39.
- [10] Henderson, S., Feiner, S., Evaluating the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret, *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '09)*, 2009, pp.135-144.
- [11] Heckman, J. J., Sample selection bias as a specification error, *Econometrica, Journal of the Econometric Society* 47, 1979, pp.153-161.
- [12] Schaefer, A., Nils, F., Sánchez, X., Philippot, P., Assessing the effectiveness of a large database of emotion-eliciting films: A new tool for emotion researchers, *Cognition & Emotion*, 24 vol.7, 2010, pp.1153-1172.
- [13] Gross, J.J., Levenson, R.W., Emotion Elicitation Using Films, *Cognition and Emotion*, 9 vol.1, 1995, pp.87-108.
- [14] Wolf, M.R., The interaction of students' scientific and religious discourses: two case studies, *International Journal of Science Education*, 19 vol.2, 1997, p.125-146.
- [15] Hampton-Reeves, S., Mashlter, C., Westaway, J., Lumsolen, P., Day, H., Hewertson, H., Hart, A., Students' Use of Research Content in Teaching and Learning. *Joint Information Systems Council (JISC)*, 2009.
- [16] Regulatory Services, Guidance for enrolling University Students as Research Subjects & Using Student Subject Pools, *University of Texas*, 2005.
- [17] Mesquita, B., & Walker, R., Cultural differences in emotions: a context for interpreting emotional experiences. *Behaviour Research and Therapy*, 41 vol.7, 2003, pp. 777-793.
- [18] Matsumoto, D., & Ekman, P., American-Japanese cultural differences in intensity ratings of facial expressions of emotion. *Motivation and Emotion*, 1989.
- [19] Fredrickson, W.E., Clifford, K.M., Emotional Differences Between Early and Late Degree Program Music Teacher Education Students Using a Concise Emotional Inventory *Applications of Research in Music Education November*, 2010, 29 pp.33-39.
- [20] Richter, D., Dietzel, C., Kunzmann, U., Age differences in emotion recognition: the task matters. *The journals of gerontology Series B Psychological sciences and social sciences*, 2011, 66 vol.1, pp.48-55.
- [21] <http://www.education.com/topic/gender-differences/>
- [22] Hyde, J.S., Fennema, E., Lamon, S.J., Gender differences in mathematics performance: A meta-analysis, *Psychological Bulletin*, 1990, 107 vol. 2, 1990, pp. 139-155.
- [23] Gefen, D., Straub, D.W., Gender Differences in the Perception and Use of E-Mail: An Extension to the Technology Acceptance Model, *MIS Quarterly*, 21 vol.4, 1997, pp.389-400.
- [24] Denso Wave, Incorporated. QR Code 2000. Consultado en Julio 2010 <http://www.denso-wave.com/qrcode/index-e.html>.
- [25] Kaywa. Kaywa QR-Code. 2011, Consultado en Abril 2011. <http://qrcode.kaywa.com/>
- [26] F. P. Vidal et al., "Principles and Applications of Computer Graphics in Medicine," *Computer Graphics Forum*, vol. 25, no. 1, pp. 113-137, Mar. 2006.
- [27] S. Benbelkacem et al., "Augmented Reality System for E-maintenance Application," in *AIP Conference Proceedings*, 2009, vol. 1107, no. 1, pp. 185-189.
- [28] D. A. Guttentag, "Virtual reality: Applications and implications for tourism," *Tourism Management*, vol. 31, no. 5, pp. 637-651, Oct. 2010.
- [29] M. T. Linaza, A. Garcia, I. Torre, and J. I. Torres, "Interacting with augmented assets in cultural tourism," in *Transac. On Edutainment I. LNCS*, Z. Pan, A. D. Cheok, and W. Muller, Springer-Verlag, Berlin, 2008, pp. 107-117.
- [30] E. Woods et al., "Augmenting the science centre and museum experience," in *Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia - Graphite'04*, 2004, p. 230.
- [31] A. Zimmermann and A. Lorenz, "Listen: a user-adaptive audio-augmented museum guide," *User Modeling and User-Adapted Interaction*, vol. 18, no. 5, pp. 389-416, Jul. 2008.
- [32] Sánchez, A., Redondo, E., Fonseca, D., Lighting simulation in augmented reality scenes. Teaching experience in interior design, en Proc. De 7ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnológías de la Información, Madrid 2012. Pp.465-470.
- [33] H. Benko, E. W. Ishak, and S. Feiner, "Collaborative Mixed Reality Visualization of an Archaeological Excavation," in *Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, IEEE, 2004, pp. 132-140.
- [34] D. H. Shin and P. S. Dunston, "Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability," *Automation in Construction*, vol. 17, no. 7, pp. 882-894, Oct. 2008.
- [35] J. R. Sánchez and D. Borro, "Automatic Augmented Video Creation for Markerless Environments" in *Poster Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP'07)*, 2007, pp. 519-522.
- [36] C. Tonn, F. Petzold, O. Bimber, A. Grundhöfer, and D. Donath, "Spatial Augmented Reality for Architecture – Designing and planning with and within existing buildings," *International Journal of Architectural Computing*, vol. 6, no. 1, pp. 41-58, Jan. 2008.
- [37] Brooke, J., SUS: a "quick and dirty" usability scale, *Usability Evaluation in Industry*, P.W. Jordan, B. Thomas, B.A. Weerdmeester, A.L. McClelland (eds.), London: Taylor and Francis, 1996.
- [38] Wimmer, R.D., Dominick, J.R. *Mass media research: An introduction. Boston, MA: Wadsworth Cengage Learning*. 2011. 9th Edition.

# Alfabetización digital para la enseñanza de la arquitectura. Un estudio de caso

## Digital literacy for the teaching of architecture. A case study

Ernesto Redondo  
ernesto.redondo@upc.edu  
Universidad Politécnica de Cataluña

David Fonseca  
fonsi@salle.url.edu  
Universidad Ramon Llull

Lluís Giménez  
lluis.gimenez@upc.edu  
Universidad Politécnica de Cataluña

Galdric Santana  
galdric.santana@upc.edu  
Universidad Politécnica de Cataluña

Isidro Navarro  
isidro.navarro@upc.edu  
Universidad Politécnica de Cataluña

---

**RESUMEN** – Se presenta un artículo fruto de un proyecto de investigación educativa realizado en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB) durante el curso 2010-2011 y 2011-2012. El proyecto se basa en un estudio de caso centrado en la secuencia académica del primer año de los estudios de grado, iniciada por el *Curso de Acogida* (curso inicial de informática gráfica) y que finaliza con el curso de *Dibujo II* (curso equivalente a la introducción en Geometría Descriptiva). Con él se propone usar una estrategia pedagógica inversa a la habitual, es decir, que los futuros estudiantes de arquitectura empiecen usando herramientas TIC y tecnologías 3D en lugar del dibujo tradicional. Dado el interés que las mismas despiertan en ellos y por su facilidad de alfabetización digital, los alumnos obtienen resultados sobre su formación gráfica, educación visual, comprensión espacial, rendimiento académico y satisfacción muy superiores a los habituales, a la vez que en periodos de aprendizaje más cortos.

**Palabras clave:** investigación educativa, herramientas TIC, tecnologías 3D, representación arquitectónica, geometría descriptiva, alfabetización digital.

**ABSTRACT** – We present this paper as the result of an educational research project conducted at the School of Architecture of Barcelona (ETSAB) during the 2010-2011 and 2011-2012 academic course. The project is based on a case study, focused on the sequence of the first academic course of undergraduate studies that begins with the *Welcome Course* (initial course on computer graphics) and ends with *Drawing II* equivalent to the introductory course on descriptive geometry. With it we propose to use a reverse teaching strategy, where future architecture students begin by using ICT tools and 3D technologies, rather than traditional drawing. Given the interest that they arouse in them and the ease of digital literacy, the results of the students' training in graphics, visual education, space understanding, and their academic performance and satisfaction are much higher than the usual ones, besides being achieved in a shorter period of time.

**Key words:** educational research, ICT tools, 3D technologies, architectural representation, descriptive geometry, digital literacy.

---



## Introducción

El objetivo fundamental de este trabajo es mostrar los primeros resultados de un proyecto de *innovación educativa* que pretende investigar el desarrollo y la mejora de las capacidades espaciales y gráficas, así como el rendimiento académico de los futuros arquitectos a lo largo de toda su formación usando las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación). En este caso se ha concentrado en los primeros niveles de aprendizaje de informática gráfica que reciben los alumnos, teniendo como referencia el curso académico 2010-2011 y 2011-2012, inicio del Grado de Arquitectura dentro del nuevo plan de estudios adaptado al EEES (Espacio Europeo de Educación Superior).

En ese curso inicial se impartieron dos asignaturas gráficas, primero un curso intensivo de acceso al grado de Arquitectura, llamado Curso de Acogida (CA) realizado en el inicio del mismo. Después la asignatura troncal Dibujo II (D2) perteneciente al segundo cuatrimestre del grado y que responde a un nivel de introducción a la Geometría descriptiva. Debe quedar claro que las competencias gráficas citadas son de asimilación obligada para todo arquitecto en su fase formativa, impartidas desde el Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica (EGA), y que se pueden adquirir con la ayuda de las técnicas de dibujo tradicionales o usando las del diseño asistido por ordenador.

Otra de las habilidades básicas que el estudiante debe aprender es el dibujo a mano alzada, pero tal aptitud, que antiguamente se solía exigir como pre-requisito para acceder a los estudios, ahora no lo es. Como se describe en (Giménez *et al.*, 2009), los nuevos estudiantes proceden del Bachillerato Científico-Tecnológico, donde ya no se les enseña a dibujar a mano alzada, y tan sólo cursan un par de semestres de la asignatura Dibujo Técnico (DT), que usa métodos tradicionales con ayuda de compás, escuadra y cartabón.

También, los nuevos estudiantes se suponen nativos digitales, y son usuarios habituales de las TIC ya que han utilizado durante el bachillerato ordenadores portátiles individuales co-financiados por el Plan Escuela 2.0 del Gobierno de España.

En este mismo sentido, estudios rigurosos sobre la mejora de las capacidades espaciales y gráficas en el campo de la Expresión Gráfica en la Ingeniería (EGI), en general (Martín-Gutiérrez *et al.*, 2009) han demostrado que, incorporando las TIC, se incrementa la capacidad de comprensión espacial y de expresión gráfica de los alumnos. El desarrollo constante de las tecnologías digitales permite nuevas formas de transmisión de la información, y esto requiere un aumento en las habilidades de los usuarios para poder gestionar todo tipo de datos en entornos digitales. Estas habilidades a menudo se conocen como “alfabetización digital” (Gilster, 1997; Inoue *et al.*, 1997; Pool, 1997).

Como describe (Eshet-Alkalai, 2004), se puede citar una descripción detallada de las principales habilidades cognitivas que van desde la motriz, hasta la sociológica y emocional. En este ámbito, algunas de las tareas requeridas incluyen poder interactuar con diferentes pantallas e interfaces de usuario, utilizar reproducciones digitales o navegación hipertextual para obtener un mejor dominio y experiencia con los programas de software (Eshet-Alkali y Chajut, 2010).

En el caso de los estudiantes de arquitectura, con edades comprendidas entre los 18 y 20 años, se debe potenciar la comprensión volumétrica de las formas, la percepción espacial de los modelos virtuales y el desarrollo de la creatividad unida al pensamiento crítico. Así pues, el medio digital parece ser un entorno adecuado para propiciar su conocimiento, sobre todo si el sistema facilita el uso orbital de los objetos virtuales, o los muestra con apariencia corpórea y no abstracta.

A la vista de lo descrito, nuestra propuesta pedagógica se denomina Docencia Inversa (DI), dado que se inicia impartiendo docencia con ayuda de las TIC en lugar del dibujo tradicional con ayuda de herramientas. Esto se debe también al interés y las aptitudes del alumnado hacia las TIC, y a la generalización del modelado tridimensional gracias a los nuevos programas de modelado 3D, cada vez más intuitivos, fáciles de usar y de menor coste. También se ha unido la generalización de la imagen digital y sus dispositivos de captura, rompiendo con los sistemas tradicionales de representación donde la visualización tridimensional o el estudio de sombras eran una finalidad y no el medio para controlar objetos y formas en el espacio.

La otra educación imprescindible, la del dibujo a mano alzada, se propone que el alumno la adquiera en la parte final de los estudios de grado, para un mejor rendimiento y cuando detrás de cada trazo, gesto o propuesta, el alumno pueda invocar una idea o un concepto arquitectónico. Exigir el control del dibujo a mano alzada en el inicio del grado, como se hace actualmente, conlleva que el alumno tenga carencias gráficas, que tardan años en adquirirse, y por consiguiente el poco provecho para ellos y la frustración para los docentes. Por el momento se demuestra (Redondo y Santana, 2010) que el dibujo digital que se realiza a mano alzada sobre pizarras digitales, tabletas-pc o iPads®, es un sustituto más que aceptable del dibujo tradicional, y que su uso en combinación con las TIC mejora la formación gráfica de los alumnos de cursos superiores y su rendimiento académico.

Para alcanzar el objetivo general, se evalúa mediante estudios de caso todo el proceso de educación en la visión espacial y la formación gráfica de los futuros arquitectos, partiendo de la docencia preuniversitaria, pasando por las Pruebas de Acceso a la Universidad (PAU) y finalizando en el grado, postgrado y máster. El primer estudio de caso es el CA+D2, que consta de un primer curso optativo CA, por el que han pasado 293 alumnos de los

380 que deseaban iniciar los estudios de arquitectura en el año 2010. Estos alumnos superaron las PAU con una nota de corte superior al 9,6 en una escala de 0 a 14. El CA ha consistido básicamente en la alfabetización digital dentro del ámbito de la arquitectura y se ha querido ensayar y evaluar las ventajas de una formación gráfica integrada en el entorno de las TIC. Todo ello se ha concretado en la fotografía digital, y la manipulación con programas de edición de imágenes en coordinación con programas de modelado 3D (Non Photorealistic Render, NPR) para atender a la comprensión espacial y al conocimiento de la geometría en la arquitectura. El segundo curso, D2, se ha llevado a término durante el segundo cuatrimestre del primer año, en una asignatura de tipo troncal y obligatoria. Este curso se centra en competencias de comprensión espacial y control geométrico de las formas arquitectónicas, por el cual han pasado 359 alumnos del grado de Arquitectura.

Estos estudiantes han sido comparados con los que cursaron la materia equivalente Geometría Descriptiva I (GD1) en años anteriores, impartidos por los mismos docentes, con los mismos contenidos y temporalidad, pero realizado con técnicas tradicionales. Se ha demostrado que generar un proceso educativo en entornos TIC aporta gran satisfacción a los usuarios, ya sean alumnos o docentes, y representa una ganancia importante en capacidades y rendimiento académico. Esta ganancia justifica de por sí la voluntad de seguir adelante con este proyecto de investigación educativa en el ámbito de la arquitectura. En segundo lugar, con la DI propuesta, se puede lograr una mejora importante en la observación (Eshet-Alkali y Chajut, 2010), en la capacidad creativa y de crítica, especialmente entre los usuarios más jóvenes. Tras el estudio realizado, los estudiantes han adquirido una gran capacidad de creación formal y de comprensión espacial, superior a la que hubieran adquirido con las técnicas gráficas tradicionales, en mucho menor tiempo y gracias a las TIC.

## Antecedentes

Los antecedentes de esta investigación hay que buscarlos en los trabajos previos de los mismos autores, a raíz de la formación gráfica de los futuros arquitectos y las nuevas estrategias TIC, publicados en revistas especializadas en investigación educativa (Redondo, 2010b). Además se han publicado ejemplos de aplicación de estas estrategias integradas con el modelado 3d y la imagen digital (Redondo, 2010a). Los resultados obtenidos hasta ahora, en apenas un par de años de trabajo, después de haber sido presentados y debatidos en diversos foros internacionales, permiten a seguir adelante con cierto optimismo. Por eso no hay duda que con este trabajo, en base a una investigación educativa de largo alcance, se pueden obtener resultados que puedan avalar las hipótesis de partida en el ámbito EGA. En paralelo, los trabajos en

el área EGI y la utilización de las TICS (Saorin, 2006; Saorin *et al.*, 2008), avalan todavía más las hipótesis de partida de este proyecto.

## Estado actual del problema y de su estudio

En la ETSAB se imparte docencia obligatoria de CAD, modelado tridimensional y tratamiento de imágenes a todos sus alumnos desde el año 1994. Esta ventaja proporciona una experiencia acumulada en la integración de las TICS a la formación de los futuros arquitectos, en estrecha combinación con las técnicas de dibujo tradicionales. No obstante, este hecho no se ha producido de forma tan radical en el resto del país, y la investigación educativa en el entorno EGA es poca si se mide con los mismos parámetros con los que se aplica en el área de la Psicología Conductiva, la Educación e incluso la Ingeniería.

Por referirnos sólo a los estudios más próximos en el área homóloga, EGI, encontramos importantes trabajos en esta misma línea de investigación (Garmendia *et al.*, 2001). Los resultados indicaron que el uso de sistemas multimedia en las aulas contribuyó a la mejora de la comprensión de los conocimientos impartidos y también a la motivación del alumno y su participación en el proceso de aprendizaje (García Domínguez *et al.*, 2002).

Por contra en el área EGA no se han realizado demasiados trabajos de investigación educativa, excluyendo textos como reflexiones ecuanímes (Otxotorena, 2007; Franco-Taboada, 2008), siempre desde la perspectiva del inmigrante digital.

Así mismo ya se ha detectado la importancia de los videojuegos en las actitudes espaciales de nuestros alumnos (Solana, 2007), no obstante estos trabajos siempre se basan en opiniones personales y normalmente se encuentra a faltar la parametrización cuantitativa, cualitativa y la evaluación sistemática de los resultados. Los estudios son algo más rigurosos cuando describen experiencias de docencia CAD o uso de las TIC, entre estos destacamos (Santana *et al.*, 2009; Gavin, 2001; Bartchougova y Rochevova, 2004; QaQish, 2001).

## El problema a resolver

El reto al cual se enfrentan los alumnos, año tras año, a la hora de adquirir las habilidades espaciales y capacidades gráficas es que comparten tiempo e intereses con las asignaturas de Proyectos Arquitectónicos. Desde el primer día de clase se les exige un alto nivel en representación y por el contrario carecen de formación en el manejo de las herramientas gráficas.

El problema es cómo solucionar esa falta de capacitación de recursos gráficos para poder abordar, desde el inicio de su formación, el análisis y comprensión de los elementos de composición arquitectónica, de ideación del proyecto, de resolución gráfica de documentos técnicos

y de presentación de sus ideas. Como hemos descrito, a diferencia de otros países, en España no se pide ningún otro prerrequisito que haber superado las PAU y se pondera subiendo la nota hasta un 20% el haber superado DT, mediante instrumentos tradicionales, aunque no es condición indispensable. Luego es dentro de la universidad donde se intenta formar a los alumnos en los principios del dibujo a mano alzada y en el resto de disciplinas gráficas.

### **Metodología del estudio**

La metodología general empleada es la del estudio de caso, habitual en la evaluación educativa (Stake, 1981). En nuestro trabajo, la primera parte del caso se ha realizado con diversos grupos de alumnos de CA, formada por un cursillo básico en la utilización del entorno Moodle y otros dos especializados en educación gráfica, uno de imagen digital y otro de modelado 3D. Todo ello se ha llevado a cabo durante 16 horas presenciales, donde se ha ensayado una nueva propuesta docente integradora, en la que en todo su desarrollo académico se han incorporado las TIC de diversas maneras.

Se han utilizado plataformas multimedia para la realización de los ejercicios, para la presentación y edición de los contenidos, para la gestión de la información mediante foros de discusión especializados y para las correcciones online. De este modo se ha creado un entorno educativo donde se han integrado las estrategias con los contenidos teóricos, con una base registros gráficos propios de la arquitectura y cuyos resultados se han valorado de forma cuantitativa y cualitativa.

En la segunda parte, todos los alumnos de D2 de la ETSAB reciben formación en geometría descriptiva y arquitectónica en base a la realización de modelos virtuales 3D, con las actividades gestionadas desde el entorno Moodle, pero sin recibir formación sobre el manejo de los programas.

Se imparte durante 60 horas lectivas, 12 de teoría en aulas de 80 alumnos y 48 de prácticas en talleres de 25 alumnos, y la docencia se basa directamente en la explicación de los conceptos geométricos y a la resolución de problemas de construcción gráfica y formal. El curso se descompone en temas clave tales como la representación y modelado de poliedros, la resolución de cubiertas con vertientes planas, el modelado mediante subdivisión de poliedros y operaciones booleanas.

### **Investigación cualitativa**

Como paso previo a la definición de los contenidos docentes de cada curso se ha establecido una jerarquía de conocimientos a adquirir según un criterio próximo a la Taxonomía Revisada de Bloom (Anderson y Krathwohl, 2001), adaptado al nivel de competencias previas de los estudiantes de cada curso y a los temas a tratar. Se busca una estructura que permita a los docentes evaluar la me-

jora de las capacidades de los alumnos tras el curso. En el caso presentado, la estructura inicial la aporta el temario oficial de las PAU en DT, que define las competencias y habilidades gráfico-espaciales de nuestros alumnos antes de acceder a la universidad. Sobre esta base, el CA se ha estructurado bajo los siguientes parámetros: objetivos, materiales docentes, contenidos y conceptos a explicar, temporalización, equipos informáticos y aplicaciones a emplear, yendo un paso más allá en la capacitación de los futuros arquitectos pero sin menoscabar contenidos a los cursos específicos del grado. Hemos obrado en el CA como si de un menú degustación se tratase, definiendo un marco general para ilustrar determinados temas. En el curso de D2, el programa se articula alrededor del estudio y aplicación a problemas gráficos de Geometría de la representación y del Análisis geométrico y perceptivo de los elementos que componen los objetos de la arquitectura. Se aprovechan en él los conceptos y prácticas utilizadas en el CA y yendo un paso más hacia adelante, profundizando en los conceptos y educando en la comprensión y manejo del espacio desde el ordenador.

### **Investigación cuantitativa**

Se refiere a la parte del trabajo dedicada a la recopilación de los datos, definición del grupo docente de referencia y del experimental, evaluación comparativa de los resultados del rendimiento académico y encuestas para medir el grado de satisfacción de usuarios y docentes. Todo ello está vinculado a un estudio básico de usabilidad de las aplicaciones y los dispositivos informáticos, así como la definición de los grupos de control para ponderar la ganancia de los alumnos del curso experimental.

### **Encuestas de satisfacción**

Nos detendremos brevemente en la descripción de este apartado. La base de estas evaluaciones toma el modelo de los cuestionarios SEEQ, Students' Evaluation of Educational Quality (Marsh y Roche, 1970). Mediante un cuestionario específico, se hicieron y valoraron preguntas sobre una escala de 1 a 5, más una opción NS/NC. Las preguntas a cada alumno se centraron en saber el grado de conocimientos informáticos previos al curso CA, como considera el aprovechamiento del curso, cuantas horas diarias ha dedicado a la realización del mismo, la opinión que les merece la temporalidad de los ejercicios, si los materiales docentes facilitados han sido los adecuados, así como la complejidad de los contenidos, finalizando con un espacio libre para recoger sugerencias y comentarios libres.

En el curso D2, el cuestionario se ha ampliado a la valoración de la usabilidad de las aplicaciones informáticas, la disponibilidad de ordenadores portátiles y los conocimientos previos de CAD.

### **Grupos de control y experimental**

Los alumnos de este primer curso experimental CA son la base de los grupos de estudio en el siguiente nivel del proyecto, cuando cursan la primera asignatura gráfica obligatoria del grado de arquitectura D2. Ha existido otro grupo de control en este primer estudio de caso, el formado por alumnos que no realizaron el CA y que han cursado Geometría Descriptiva I (GDI), prolongación del DT del bachillerato, por medios tradicionales y con los mismos docentes del CA el segundo semestre de 2009 y el primero de 2010.

### **El curso de acogida (CA)**

Este curso introductorio surge de la voluntad del centro de poner de manifiesto que los futuros arquitectos deben disponer, desde el comienzo, de una formación gráfica sólida, la que por desgracia no siempre habrán recibido con antelación. Por eso se quiere facilitar a los nuevos alumnos herramientas básicas de representación, expresión y concepción arquitectónica para que, desde el primer día de su formación universitaria, dispongan de instrumentos y metodologías de trabajo, versátiles, intuitivas, asequibles y motivadoras. Tales herramientas y estrategias, con posterioridad, serán ampliadas con otras mucho más rigurosas como en el caso del curso D2, pero dado que las mismas precisan de más preparación conceptual, se quiere ahora facilitar un mínimo bagaje instrumental y conceptual que permita el inicio rápido en la formación del alumno.

### **Propuesta metodológica de innovación docente**

Conscientes de que la docencia gráfica recibida de forma obligatoria por los nuevos estudiantes de la ETSAB y que por edad y afinidad son usuarios habituales de las TIC; conocedores a la vez de las dificultades de alcanzar unas competencias básicas y en poco tiempo en el uso del dibujo tradicional, se quiere plantear un giro metodológico a los sistemas tradicionales de formación gráfica, ya que desde el primer día tendrán que enfrentarse a la realización de proyectos.

Así, toda la cultura y educación visual que aportaría (y así lo hará posteriormente) el dibujo a mano alzada es introducida de un modo más ágil por la imagen digital, obviando en principio el adiestramiento manual lento que el dibujo conlleva. En paralelo, muchas de las estrategias de composición y construcción arquitectónica pueden ser reproducidas con los programas modernos.

En este experimento, los alumnos empiezan manipulando y visualizando un modelo 3D de un edificio real que tienen próximo, la nueva biblioteca de la ETSAB, seccionándolo de forma dinámica, realizando recorridos

virtuales como si de un videojuego se tratase, seleccionando puntos de vista interesantes según su percepción. Posteriormente van incorporando la luz y las sombras como atributo visual, y aplicando a continuación materiales y texturas extraídas de fotografías del edificio real, para aportar más expresividad al modelo. Estas fotografías son tomadas y manipuladas en el curso de imagen digital, concluyendo todo el estudio con la construcción de un elemento característico del mismo.

### **Objetivos del curso**

El objetivo de este curso, y de los restantes que componen este proyecto, toma como base el hecho que los alumnos que acceden a la universidad y desean cursar el grado de arquitectura están más o menos familiarizados con las nuevas tecnologías y el uso de los ordenadores. Se quiere comprobar en este caso cómo, cuando los profesores utilizan herramientas TIC y los contenidos docentes se optimizan en ese ámbito, los alumnos prestan más atención, obtienen mejor rendimiento académico, se sienten más interesados a la hora de realizar los ejercicios, usan materiales multimedia y recursos web para entregar ejercicios para visualizar sus propuestas. Por el contrario muestran poca motivación y menor rendimiento académico usando metodologías tradicionales.

### **Contenidos**

Los contenidos a desarrollar en el sub-curso de imagen digital fueron: adiestramiento en las técnicas básicas para la toma y manipulación de imágenes digitales y su aplicación en el campo arquitectónico en cuanto a encuadres, secuencias visuales y reportajes fotográficos de un edificio. También se ha entrado en proyectos de intervención en un entorno arquitectónico, fotomontajes intuitivos, y la manipulación de imágenes para generar texturas e integrarlas en modelos virtuales 3D. En el sub-curso generación de modelos 3D, se trató el adiestramiento de técnicas básicas de manipulación, construcción y diseño de modelos y proyectos arquitectónicos virtuales con toma de datos sobre el terreno. Posteriormente se hizo hincapié en la generación de modelos 3D simples, y partiendo de la documentación gráfica y del entorno, se fueron incorporando elementos como su geometría básica, las vistas del modelo virtual, la aplicación de texturas fotográficas y el estudio de asoleamiento.

### **Material docente**

Lo primero que se ha planteado en el momento de abordar el material docente del curso ha sido partir de que todos los alumnos son nativos digitales, tal como propone



Premsky (2001a; 2001b). La incidencia que este factor generacional tiene en la educación de los estudiantes está siendo objeto de diversos estudios sobre los alumnos de bachillerato (Etxeberria, 2008) pero no en el ámbito universitario. Según este argumento, nuestros alumnos están acostumbrados a aplicaciones donde siempre se proporciona una visión clara del objetivo. Estas incorporan demostraciones de cómo hay que jugar, permiten el avance gradual y guardar los progresos, poder parar y retomar los procesos a voluntad, obtener ayudas interactivas al instante y participar con entornos atractivos y activos que fomentan la exploración y las estrategias.

Por todo ello hemos generado de una serie de materiales didácticos que pretenden argumentar esa filosofía. Se han elaborado manuales de utilización de las aplicaciones, tutoriales específicos para cada una de las prácticas, y presentaciones interactivas para cada una de las clases teóricas. Se ha creado en el entorno Moodle del centro una serie de recursos tales como un Foro de intercambio de opiniones y de asistencia online de los docentes, junto con un repositorio de materiales a emplear en la realización de los ejercicios. Por último se ha diseñado un ejercicio final resumen de los dos sub-cursos en cuyo proceso de elaboración los alumnos han contado con correcciones online y una evaluación final vía web.

## El curso de dibujo II (D2)

### Objetivos del curso

La finalidad principal del curso es educar a los alumnos en el conocimiento los sistemas de representación tradicionales e informáticos más usuales en la arquitectura. Se propone reconocer e interpretar los objetos a partir de imágenes representadas en proyecciones axonométrica, cónica, planta, alzados y/o secciones, y a la vez en formatos 3D interactivos; controlar los objetos en el espacio y su entorno; aplicar conceptos de medida, posición y análisis formal; utilizar la geometría como modelo de análisis y generación de los objetos; gestionar los datos propuestos, estructurarlos, elaborarlos y valorar el resultado; plantear y estructurar sistemas y métodos de resolución de las estrategias de trabajo y por último controlar gráficamente la influencia del entorno natural o artificial en los espacios arquitectónicos: imagen y percepción, energía y asoleamiento, y emplazamiento y terreno.

### Contenidos

Los contenidos se estructuran en tres grandes apartados:

- (a) La geometría de la representación arquitectónica basada en la representación bidimensional, en la imagen perspectiva, su estructura y percepción,

en la lectura y comprensión de la representación de objetos y en la aprehensión del espacio.

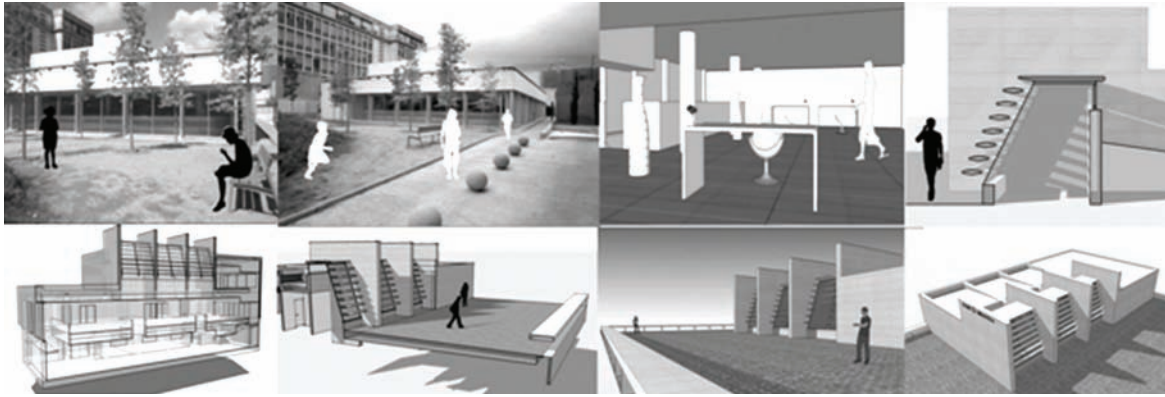
- (b) La representación tridimensional, es decir, el control métrico y posicional de los objetos en el espacio; la entrada de datos en sistemas gráficos tridimensionales; la geometría básica en el espacio para la generación de objetos; conceptos de pendientes, ángulos, perpendicularidad, normales, tangencias, curvas, superficies y volúmenes; operaciones de transformación geométrica y modificación de entidades mediante la edición de sus parámetros.
- (c) Conceptos sobre parametrización formal, es decir, el análisis geométrico y perceptivo de los elementos que componen los objetos de la Arquitectura: generación de modelos virtuales 3D aplicando interacciones entre figuras geométricas; la transformación y modificación de formas para la generación de nuevos elementos de diseño y arquitectura; las estrategias de formalización; los recursos geométricos aplicados a temas específicos para la resolución de cubiertas, el trazado de escaleras, generación de mallas espaciales y la creación de superficies complejas; y los recursos gráficos para el control del asoleamiento en la arquitectura y el urbanismo.

### Material docente

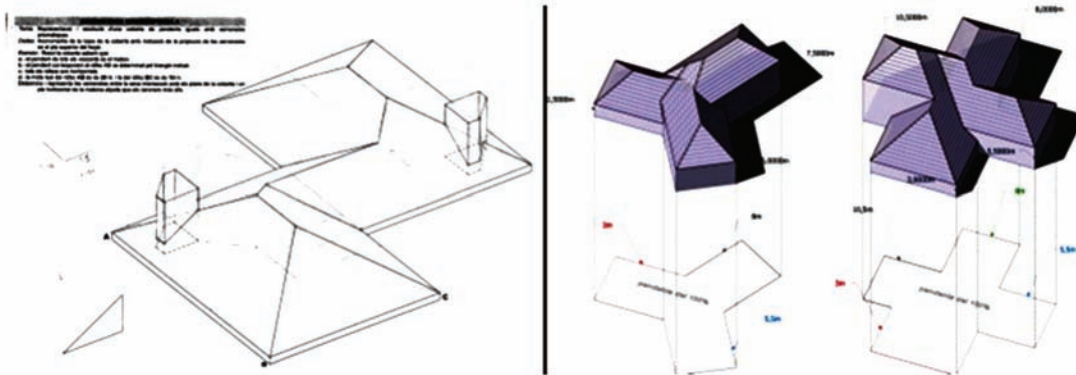
Siguiendo la misma filosofía que en el curso CA, para el curso D2 se han elaborado además, materiales docentes dinámicos y manipulables a través de la web usando archivos *pdf* 3d, junto a animaciones que permiten visionar de forma interactiva el resultado final de los ejercicios y sus procesos de construcción gráfica, potenciados además con el foro de discusión y las correcciones online.

### Equipos

Para la realización de este experimento docente, ya sea en el curso CA como en D2, se ha utilizado equipamiento informático variado. Así, por ejemplo, la fase presencial del curso CA se llevó a cabo en las aulas informáticas del centro, equipadas con ordenadores PC convencionales. La parte del trabajo no presencial y del curso D2, se llevó a cabo con los ordenadores personales de los propios estudiantes, generalmente ordenadores escolares tipo netbooks o similares. Por lo que respecta a las aplicaciones informáticas, los modelos virtuales se generaron con las licencias gratuitas del programa Google SketchUp, y el procesamiento de imágenes digitales con el programa libre GIMP (GNU Image Manipulation Program). Las fotografías las llevaron a cabo los alumnos con sus propias cámaras digitales,



**Figura 1.** Ejemplos de trabajos parciales del curso CA.  
**Figure 1.** Examples of coursework CA.



**Figura 2.** Ejemplo comparativo de un mismo ejercicio de los cursos GD1 y D2.  
**Figure 2.** Comparative example of the same year. GD1 and D2 courses.

las cuales mayormente eran de tipo compacto. Para las presentaciones y correcciones conjuntas se utilizaron las PD de cada profesor y para las correcciones online se usaron tablets-pc (Toshiba y Hewlett Packard) o tabletas digitalizadoras (Wacom Intuos).

### Investigación cuantitativa

En curso CA, se ha trabajado con 7 grupos de 25 y dos de 30 alumnos, aunque realmente han cursado la materia 230 estudiantes. La diferencia en número de alumnos de este grupo, respecto al total de nuevo ingreso (380), se debe a que el CA se llevó a cabo fuera del calendario escolar, concretamente la semana anterior al inicio del curso oficial. También se debe a que, según los datos de la Jefatura de Estudios de la ETSAB, el 33% son residentes fuera del área metropolitana de Barcelona, y a que las residencias universitarias iniciaron su actividad la siguiente semana. En el curso D2, se ha trabajado con los 359 estudiantes matriculados

en el primer curso de grado, divididos en 6 grupos de 60 alumnos.

### Análisis de los resultados académicos

Se han comparado los estudiantes del CA con el grupo que ha hecho docencia clásica. Esto nos ha servido para medir el estado de adiestramiento en la utilización de las TIC y en las habilidades espaciales y gráficas antes del experimento y compararlo con el resultado al final. Por lo que respecta a la medición y evaluación del rendimiento académico se ha llevado a cabo de dos modos. Primero por comparación de los resultados académicos de los alumnos en cada ejercicio y al final del curso en relación con su nivel de acceso y grupo de control. Segundo, por un cuestionario específico sobre el aprovechamiento recopilando información sobre el interés del curso, satisfacción y capacitación previa en el manejo de la TIC y facilidad de manejo de los programas empleados.

### **Evaluación del rendimiento académico**

Respecto al rendimiento académico, el curso lo han superado 134 alumnos de los 220, lo cual representa que el 65,0% obtuvo unos resultados aceptables, un 30% con fallos y un 5% realizaron el curso libremente dejando tareas pendientes o no realizando el trabajo en los formatos y con los contenidos especificados. Este valor es superior a la media de las asignaturas gráficas del primer semestre en la ETSAB, que es del 55%.

### **Conclusión del curso**

Para el control visual del modelo digital, predomina la representación de tipo perspectiva cónica en las imágenes de los paneles resumen. Un 79% opta por este tipo de proyección frente al 21% que opta por la axonometría. Sin duda esto se debe a que el programa modelador 3d NPR usa esta proyección por defecto. Sorprende no obstante el gran número de alumnos, un 28,7%, que ha optado por usar proyecciones cónicas del modelo seccionado, sin duda por economía de medios, pues con ellas se visualizan exterior e interior simultáneamente, y mejora la comprensión del edificio relacionando visualmente sus espacios. En el caso de la edición de las imágenes, se observa una gran dificultad para conseguir los objetivos del curso. Tan sólo un 45% ha logrado completar todos los trabajos específicos, lo cual denota a nuestro entender la dificultad de manejo del programa Gimp.

### **Encuestas de satisfacción**

Durante la segunda edición del CA (2011-2012) se realizaron dos encuestas para poder analizar y comparar el desarrollo y adecuación del curso. La primera se llevó a cabo al inicio del mismo para comprobar los conocimientos previos del alumno, su nivel académico, el material que dispone y el software que ha utilizado hasta entonces. Destacamos que el 80% de los alumnos disponía de ordenador portátil y entre estos el 35% lo tenía con menos de un año de antigüedad. También que el 74% utiliza habitualmente el sistema operativo de Windows, frente a un 12% de MacOS y Linux con un 1%. Aproximadamente, el 48% de los alumnos ha utilizado previamente software del tipo CAD, y entre ellos, concretamente el 78% utilizó el programa AutoCad, y el resto programas como Google Sketchup, Autodesk 3ds max, Qcad, Cad Std, Dibac, A9Cad, MicroStation, Cinema4d, AutoSketch o Autodesk Inventor. En cuanto a editores de imagen, solo un 31% de los alumnos los había utilizado previamente, y entre ellos, el 81% utilizó Adobe Photoshop, y el resto practicó con GIMP o Corel Draw.

Ante estos primeros datos, sorprende que los alumnos accedan con un mayor conocimiento de programas CAD, siendo estos más específicos que otros, como,

por ejemplo, los editores de imágenes, cuyo uso es más extendido y generalista. Una posible respuesta recae en que gran parte del alumnado de nuevo ingreso ha tenido gran seguridad de saber que, en los estudios tecnológicos, se requerirá en mayor o menor medida un dibujo de CAD profesional, corroborado al saber el 50% cursó alguna asignatura de dibujo a mano alzada durante la secundaria y el bachillerato. Otro dato que argumenta esta vía corresponde al conocimiento que el 77% de los presentados a las PAU obtuvieron una nota global superior a 7 puntos, y que solo el 10% de alumnos no cursó el examen de DT en las PAU.

La segunda encuesta se realizó una vez finalizado el curso para conocer el grado de satisfacción de los alumnos sobre los conocimientos adquiridos, y por comparación detectar junto a la primera encuesta posibles problemas y mejoras a introducir. En general el 50% de los alumnos del curso han encontrado dificultades para entender el funcionamiento de los programas, aunque mayoritariamente (75%) valoran la documentación facilitada. El alumnado reconoce que ha necesitado mucho tiempo para realizar los trabajos pero también ve muy clara su gran utilidad para los estudios de grado que empieza. En cuanto a la edición de imágenes, basado en el programa de libre uso GIMP, ha habido dificultad de comprensión e inversión de tiempo en la realización de los ejercicios recomendados. De todos modos el estudiante valora el esfuerzo efectuado y la utilidad inmediata del mismo justo en el inicio de sus estudios universitarios. Parecidos datos se han dado en la aplicación de CAD, Sketchup, con lo cual se confirma el acertado uso de los mismos, su adecuación al curso, su utilidad para los estudios de grado; por otra parte la usabilidad de los mismos, preguntas. 2, 7 y 12, ha sido considerada en términos generales similar.

En esta ocasión se introdujo el tema de la realidad aumentada como complemento final para el curso. La mayor parte del alumnado era desconocedor de esta técnica y así se refleja en la encuesta, con dificultad en el entendimiento del su uso y desconocimiento sobre su utilidad en los futuros estudios de arquitectura. En resumen, los alumnos valoran el CA por incrementar su formación gráfica (86%) e incluso, si fuera posible, solicitan más tiempo para desarrollar el curso en su totalidad (85%). También valoraron muy positivamente la ayuda de docentes y becarios, y valoran (94%) la posibilidad de mantener el contacto con los mismos para resolver problemas gráficos durante sus estudios.

El análisis de la consistencia y desviación en las respuestas se ha completado al finalizar el curso de DII. Con el fin de comprobar la importancia del uso de nuestra metodología, hemos estudiado las diferencias en los resultados finales obtenidos a partir de dos grupos de estudiantes que han realizado la asignatura de Descriptiva II, en dos años consecutivos: el primero sin el uso de la nueva metodología (2009-2010), y el segundo en el cual

CA - Encuesta inicial

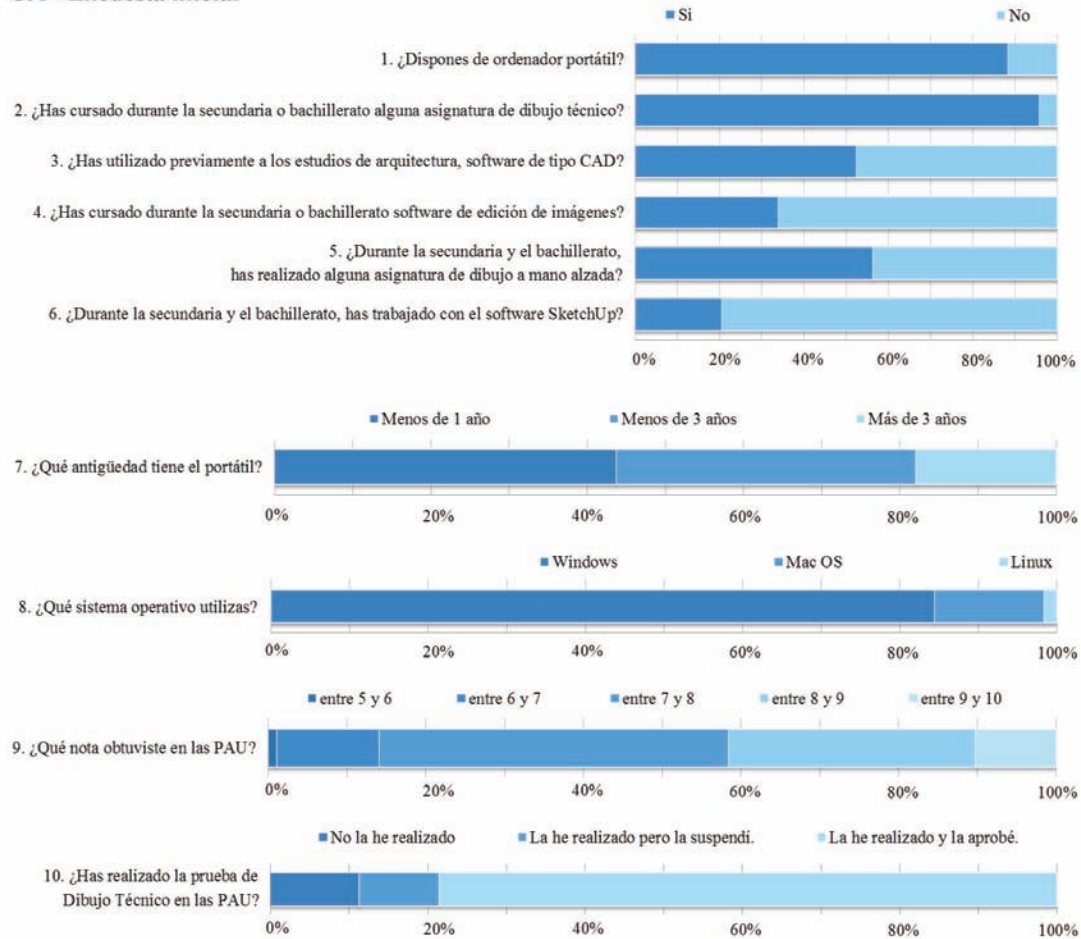


Figura 3. Valoración de las encuestas.  
Figure 3. Rating survey.

hemos utilizado la metodología descrita (2010-2011). Las principales características de los dos grupos de comparación las podemos ver en la Tabla 1. La representación gráfica de la muestra junto con el intervalo de confianza de los resultados los podemos estudiar en la Figura 5.

Es necesario recordar que el hecho que los datos de estos intervalos no se superpongan no implica necesariamente que la diferencia entre los dos grupos pueda ser estadísticamente significativa. Comúnmente se puede afirmar que, si al 95% del intervalo de confianza entre dos muestras, las barras de error no se superponen, la diferencia es estadísticamente significativa a un nivel de  $P < 0,05$ , pero para confirmar esta afirmación sería necesario evaluar la “t de Student”, que nos permite comparar dos medios independientes y normales para una variable cuantitativa.

Realizando dicho análisis mediante una muestra de dos colas al ser independiente el orden de los estudios hemos obtenido que la diferencia en el promedio entre

los dos grupos ( $t = -3.33, p < 0,05$ ) fue significativa estadística al obtener un valor de  $p = 0,00057$ . Dicho dato valida nuestra hipótesis de mejora en la implementación de nuevas tecnologías docentes en el ámbito universitario ya que mejora ostensiblemente el rendimiento académico de los alumnos.

**Conclusiones generales y trabajo futuro**

Como se demuestra, usando las TIC con alumnos con muy poca formación específica previa dentro del ámbito de EGA, pero motivados hacia estas tecnologías y empleando una estrategia pedagógica global en la que se mezclan los sistemas de visualización y modelado 3D con la imagen digital, en un entorno multiusuario, multimedia y participación online, se obtienen en muy poco tiempo mejoras sustanciales en el rendimiento académico de los alumnos, en sus capacidades de comprensión espacial y en el manejo de las herramientas gráficas digitales si



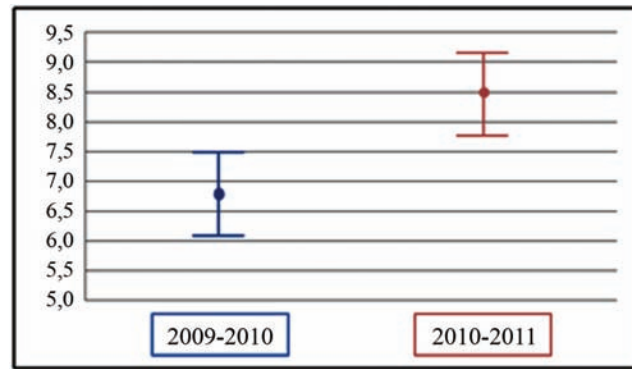
CA - Encuesta final



Figura 4. Valoración de las encuestas.  
 Figure 4. Rating survey.

Tabla 1. Media, desviación estándar, varianza e intervalo de confianza de nuestras dos muestras.  
 Table 1. Mean, standard deviation, variance and confidence interval of our two samples.

	N	Media	Desv.	Varianza	Interv. Conf
2009-2010	62	6.78	2.72	7.43	±0.67
2010-2011	52	8.46	5.26	6.55	±0.69



**Figura 5.** Barras de error del margen de confianza para las dos muestras estudiadas a partir de un grado de significación del 95%.

**Figure 5.** Error bars the confidence interval for the two samples studied from a significance level of 95%.

estas son ágiles y con alto nivel de usabilidad.

El trabajo futuro está bien definido: en primer lugar repetir el caso con los alumnos de CA y de D2 del nuevo curso 2011-2012, convertidos en un nuevo grupo experimental, para ver como evolucionan a lo largo de su formación arquitectónica y comparar sus resultados con el estudio de caso de este año.

En segundo lugar corregir pequeños desajustes observados, como, por ejemplo, la necesidad de introducir nociones de CAD 2D en el CA para la toma de medidas y realización de bocetos. En el curso D2 por su parte se prevé introducir la realidad aumentada para la visualización de los modelos 3D sobre el lugar, como fotomontaje a tiempo real, mediante aplicaciones para modelador SketchUp en vínculos con teléfonos móviles con sistemas Android, AndAR.

Todo ello se regirá siempre bajo los mismos equipos y programas educativos de bajo coste y de alta usabilidad, para lograr la máxima eficacia educativa. En paralelo se estudiarán grupos de alumnos de bachillerato, de postgrado y máster para obtener al final una imagen global de todo el proceso y obtener conclusiones más amplias.

## Referencias

- ANDERSON, L.; KRATHWOHL, D. (eds.). 2001. *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York, Longman, 265 p.
- BARTCHOUGOVA, E.; ROCHEGOVA, N. 2004. About Virtual Spatial Modelling in Architectural Education, Spatial Simulation and Evaluation. New Tools in Architectural and Urban Design. In: EUROPEAN ARCHITECTURAL ENDOSCOPY ASSOCIATION CONFERENCE, 6, Bratislava, 2004. *Actas...* Bratislava, p. 138-142.
- ESHET-ALKALAI, Y. 2004. Digital Literacy: A Conceptual Framework for Survival Skills in the Digital Era. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, **13**:93-106.
- ESHET-ALKALAI, Y.; CHAJUT, E. 2010. You Can Teach Old Dogs New Tricks: The Factors that Affect Changes over Time in Digital Literacy. *Journal of Information Technology Education*, **9**:173-181.

- ETXEBERRIA, F. 2008. Videojuegos, consumo y educación. *Revista Teoría de la Educación*, **9**(3):11-28.
- FRANCO TABOADA, J.A. 2008. Jano Bifronte. Impregnación y mestizaje en el área de la expresión gráfica arquitectónica. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE EXPRESIÓN GRÁFICA ARQUITECTÓNICA, 12, Madrid, 2008. *Actas...* Madrid, p. 317-324.
- GARCÍA DOMÍNGUEZ, M.; LORENZO, G.M.; RIVERO, J.P.S.; BERMÚDEZ, J.P.; BENÍTEZ, F.S. 2002. Sistema de apoyo al dibujo para impartir docencia. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA, 14, Santander, 2002. *Actas...* Santander. Disponible en: <http://departamentos.unican.es/digteg/ingegraf/cd/ponencias/271.pdf>. Acceso el: 14/06/2012.
- GARMENDIA, M.; ALBISUA, J.; GALARRAGA, R. 2001. Influencia de la integración de un sistema multimedia en la mejora de la docencia en expresión gráfica. In: CONGRESO INTERNACIONAL INGENIERÍA GRÁFICA, 13, Badajoz, 2001. *Actas...* Badajoz, p. 101-110.
- GAVIN, L. 2001. Online Learning in Multi-User Environments. In: M. STELLINGWERFF; J. VERBEKE (eds.), *ACCOLADE - Architecture, Collaboration, Design*. Delft, Delft University Press (DUP Science), p. 59-64.
- GILSTER, P. 1997. *Digital Literacy*. New York, Wiley Computer Publishing, 154 p.
- GIMÉNEZ, L.L.; NOCITO, G.; REDONDO, E.; REGOT, J. 2009. Proacción frente a reacción: datos, notas y algunas ideas sobre el futuro de nuestras disciplinas y la incidencia en ellas del nuevo bachillerato. In: CONGRESO INTERNACIONAL EGA, 13, Valencia, 2010. *Actas...* Valencia, Ed. UPV, p. 339-340.
- INOUE, H.; NAITO, E.; KOSHIZUKA, M. 1997. Mediacy: What it is? Where to go? *International Information & Library Review* **29**(3-4):403-413. <http://dx.doi.org/10.1006/iilr.1997.0059>
- MARSH, H.W.; ROCHE, L. 1970. SEEQ Students' Evaluation of Educational Quality: Multiple Dimensions of University Teacher Self-concept. *Instructional Science*, **8**(5):439-469.
- MARTÍN-GUTIÉRREZ, J.; SAORÍN, J.L.; MARTÍN-DORTA, N.; CONTERO, M. 2009. Video Games Improve Spatial Abilities of Engineering Students? *International Journal of Engineering Education*, **25**(6):1194-1204.
- OTXOTORENA, J.M. 2007. Dibujo y proyecto en el panorama de la arquitectura contemporánea: impacto e influjo de los nuevos procedimientos gráficos. *Revista EGA*, **12**:60-73.
- POOL, C.R. 1997. A New Digital Literacy: A Conversation with Paul Gilster. *Educational Leadership*, **55**(3):6-11.
- PREMSKY, M. 2001a. Digital Natives, Digital Immigrants. *On the Horizon*, **9**(5):1-5.
- PREMSKY, M. 2001b. *Digital Game-Based Learning*. New York, McGraw-Hill, 464 p.

- QAQISH; R.K. 2001. Exploiting Tools of Evaluation to Improve CAAD Teaching Methods: A Case Study of Inter & Intra ECTM Model. *Proceedings of the Ninth International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures*, p. 215-230.
- REDONDO, E.; SANTANA, G. 2010. Metodologías docentes basadas en interfaces táctiles para la docencia del dibujo y los proyectos arquitectónicos. *Arquiteturarevista*, 6:90-105.
- REDONDO, E. 2010a. Un caso de estudio de investigación aplicada: la recuperación de la trama viaria del barrio judío de Girona mediante realidad aumentada. *Revista EGA*, 16:70-81.
- REDONDO, E. 2010b. Dibujo digital: hacia una nueva metodología docente para el dibujo arquitectónico. *Pixel-Bit*, 39:91-104.
- SANTANA, G.; SOLER, M.; CADENATO, A. 2009. ATENEA nos puede ayudar a adaptar una asignatura al EEES (mesa redonda). Barcelona, ICE, Universitat Politècnica de Catalunya. "Ejemplo de aplicación de docencia semipresencial, en una asignatura troncal (GD II), de la ETSAB". Disponible en: <http://www.upc.edu/atenea/difusio/dia-atenea-09/programa-atenea-09>.
- SAORÍN, J. 2006. *Estudio del efecto de la aplicación de tecnologías multimedia y del modelado basado en bocetos en el desarrollo de las habilidades espaciales*. Valencia, España. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 243 p.
- SAORÍN, J.L.; MARTÍN GUTIERREZ, J; MARTÍN DORTA, N.; CONTERO, M. 2008. La capacidad espacial y su relación con la ingeniería. *DYNA. Ingeniería e Industria*, 84(9):721-732.
- SOLANA, E. 2007. La utilidad frente al operador en la Expresión Gráfica Arquitectónica. *Revista EGA*, 12:74-81.
- STAKE, R.E. 1981. Case Study Methodology: An Epistemological Advocacy. In: W.W. WELSH (ed.), *Case Study Methodology in Educational Evaluation: Proceedings of the 1981 Minnesota Evaluation Conference*. Minneapolis, Minnesota Research Evaluation Center, p. 31-40.

Submitted: 08/02/2012

Accepted: 23/03/2012

#### Ernest Redondo

Universidad Politécnica de Cataluña  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
Avda. Diagonal, 649, 2  
CP08028, Barcelona, España

#### David Fonseca

Universidad Ramon Llull  
Depto. de Arquitectura. Ingeniería y Arquitectura La Salle  
Calle Quatre Camins 2, CP 08031  
Barcelona, España

#### Lluís Giménez

Universidad Politécnica de Cataluña  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
Avda. Diagonal, 649, 2  
CP08028, Barcelona, España

#### Galdric Santana

Universidad Politécnica de Cataluña  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
Avda. Diagonal, 649, 2  
CP08028, Barcelona, España

#### Isidro Navarro

Universidad Politécnica de Cataluña  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona  
Avda. Diagonal, 649, 2  
CP08028, Barcelona, España



## New Strategies Using Handheld Augmented Reality and Mobile Learning-teaching Methodologies, in Architecture and Building Engineering degrees

Ernest Redondo<sup>a1</sup>, David Fonseca<sup>b</sup>, Albert Sánchez<sup>a</sup>, Isidro Navarro<sup>a</sup>

<sup>a</sup>ETSAB, Universitat Politècnica de Catalunya-BarcelonaTech, Avda. Diagonal 649, Barcelona 08028, Spain

<sup>b</sup>Arquitectura La Salle Barcelona, Universitat Ramon LLull, C/.Quatre Camins Camins 2, Barcelona 08022, Spain

### Abstract

In this paper we present “ML-AR” Practice Modules, in the field of Architecture and Building Engineering. They are alternative to traditional courses which are taught over a semester. In this case we use a particular technology such as Augmented Reality (AR) adapted to the student learning flow, independent of the original contents of the course.

While there's the possibility that students who have enrolled do not have last generation mobile phones to carry out the experiences, it was decided to limit the experiments to specific groups within four areas of undergraduate and master.

In each case, specific Mobile Learning (ML) practices have been carried out. We used for that Hand Held Augmented Reality, to overlap virtual models on real scenes. Each experimental group (EG) has been able to visualize a virtual model created by them or their teachers, in order to evaluate an architectural proposal, a project, or a construction detail, on site, as part of the contents of their own learning process. The result is an enriching experience from the point of view of education, as well as stimulating for young users of these technologies. Students without the required devices, still the ordinary course, configured the control group, (CG).

The general hypothesis that links all experiments focuses on verifying the contribution of new digital and mobile technologies in the acquisition of new values and skills within a learning process. Virtual models generation and augmented scenes preview on site, provides evaluation tools for better assessment and knowledge of student's proposals prior to any intervention, in addition, this kind of experiences, improve spatial abilities of students. Also the interaction with content, modifying and sharing their views on the network from the site itself, provides social skills focused on their specific area of teaching. In short, these kinds of experiences help to create a self-formative process, where devices and technologies are used close to the students, who show greater motivation and commitment in didactic contents generation.

We are based on academic performance improvement assessment through study cases. Relationship between performance and usability is also evaluated by comparing the achievement of the overall objectives between the two groups (EG & GC).

---

\* Corresponding author. Tel.: +0034 93- 401-6384; fax: +0034 93-4016332  
E-mail address: [Ernesto.redondo@upc.edu](mailto:Ernesto.redondo@upc.edu).





The experiments carried out confirm our initial hypothesis, where Information and Communication Technologies (ICT) used in the web 3.0 environments, allow improving learning processes and reducing its temporality without previous experience at very low cost. All this thanks to the intuitive haptic interfaces from new mobile devices, and their graphics and geo-localization features, which are able to generate new visualization methods. AR Technology in this area is set as the clear evolution of the photomontage technique, with a long and tested tradition on architecture realm. In addition, Cloud computing development, which allows sharing applications and Internet services ubiquitously and in real time, creates a new paradigm of continuous training and self-learning through the use of AR technology.

*Keywords:* Handheld Augmented Reality, Mobile Learning; Educational Research; Architectural Representation; User Experience.

---

# Real-Time Dynamic Lighting Control of an AR Model Based on a Data-Glove with Accelerometers and NI-DAQ

Alex Rodiera Clarens<sup>1</sup> and Isidro Navarro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Arquitectura, Universidad Ramon Llull, Barcelona, Spain

alex.rodiera@gmail.com

<sup>2</sup>Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica–Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Spain

isidro.navarro@upc.edu

**Abstract.** The lighting of models displayed in Augmented Reality (AR) is now one of the most studied techniques and is in constant development. Dynamic control of lighting by the user can improve the transmission of information displayed to enhance the understanding of the project or model presented. The project shows the development of a dynamic control of lighting based on a data-glove with accelerometers and A/D NI-DAQ converter. This device transmits (wired/wirelessly) the signal into the AR software simulating the keystrokes equivalent to lighting control commands of the model. The system shows how fast and easy it is to control the lighting of a model in real-time following user movements, generating great expectations of the transmission of information and dynamism in AR.

**Keywords:** Real-time lighting, NI-DAQ, Accelerometers, Xbee, Data-glove, augmented reality.

## 1 Introduction

Augmented Reality (AR) is mainly a developed tool for the visualization of 3D models and other relevant information overlaid in a real world scenario. Using this technology, we find previous studies about the relationship between student motivation, degree of satisfaction, and the user experience or student perception in the interaction with and teaching of applied collaborative works is extensive, with recent contributions that have helped to design new e-learning experiences or dislocated teaching using IT, and advanced visualization tools like AR [1], [2].

This technology is more extensively studied from a technological perspective (the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) is the global reference in these advances) or from the perspective of sociological and communication impacts (as addressed by the annual conference of the International Communication Association) instead of its educational capacity or ability to transform teaching and education.

From the first experiences using this technology [3], we find different works that proposes a prototype that helps users to interact with the world, and more recent

proposals for users in their everyday interactions with the world [4], which shows a device that provides real-time information to the user.

The 3D models are being used in the field of architecture for the visualization of projects for years [5]. The incorporation of AR to these types of projects [6] has increased expectations of the use of this tool reaching to situate the 3D model in the place where it will be build [7].

This capacity of AR technology, which shows a "completed" reality superimposed on reality, allows for the creation of an impossible image of what does not exist as a result of the analysis of existing building systems (e.g., structural, facilities, and envelope) and geo-location and photo composition. AR could facilitate rehabilitation and maintenance tasks, systems verification, and interactive updates in the same place and in real time, promoting more efficient management and control processes of building construction elements [8].

All of these improvements in space visualization and interpretation have clear relevance to the professional world and lead to a teaching process that allows for the rapid assimilation of concepts by the student [9].

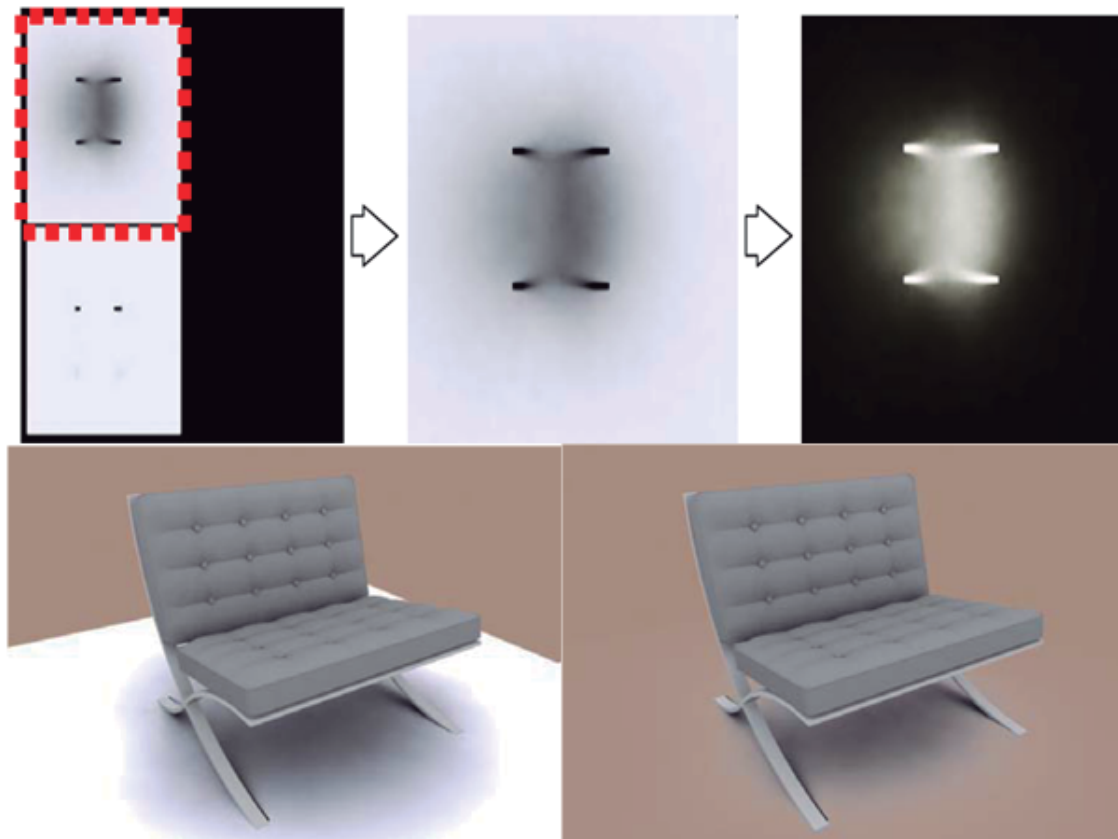
The main objective of the project is generate a simply dynamic lighting control based on a data-glove with accelerometers to interfere in advanced 3D visualization software used in the architecture framework to evaluate the behavior of shadows in 3D project models used in architecture education.

## **2 Using AR and Advanced Lighting in Educational Environment**

One of the challenges of visualization in these types of projects is lighting. Previous experiences have been developed with students in the visualization of objects that include lighting as a resource to achieve a better light immersion. The problem of virtual models illumination and how it can be integrated into the scene has been also widely discussed. In the first approaches to RA, the virtual object was simply overlapped in the real environment.

Major advances in technology focused on the correct calibration and registration of objects, studying the possible effects of occlusion and spatial coherence of objects, regardless of any other adaptation of the object in the scene. In other words, once the object was included in the scene, it was an artificial object, unable to adapt to the changes in environmental light. That kind of configurations lacked realism, and consistency of the scene was based only on geometrical aspects [10].

The sensation of realism in the scene is obtained primarily through visual interactivity. While it is true that as more senses involved, a greater sense of realism is achieved, a realistic immersion system should be able to create a complete visual simulation or as close as possible to it "Fig. 1".



**Fig. 1.** Texture maps to cast shadows in real space. On model basis, a lightmap is assigned as the main texture, and its inverse image is assigned as an opacity map to acquire transparency. So black pixels remained transparent, leaving visible only the cast shadow area.

Despite of all these improvements, the uses may lose the attention of the presentation during short necessary breaks needed for the presenter to interact with the computer for activating necessary commands (such keystrokes or mouse movements) for generating the desired changes to the model.

From an educational point of view, it is proved [11] that removing or minimizing the impact of these breaks can avoid the loss of attention from audience/students. Previous experiences [12], aims to improve comprehension of the project presented.

For this reason our department (Architecture La Salle, Ramon Llull University in collaboration with Graphical Expression Department of the Polytechnic University of Catalonia – UPC) has an active open line of research about the impact of technology on improving the understanding of the information presented.

As a part of that line of research we are working on a project that allows the possibility of interaction with the hardware used for showing the information in a real-time intuitive way.

One of the hypotheses of the project is to quantify the change in the dimension of the project presentations.

To allow this interaction, we have embedded electronic components such as accelerometers and sensors to devices like “data gloves”, commands, models or objects related to the project. This offers a wide range of possibilities in constant development up to date, making the presentation more spectacular.



These devices allow independence and self-reliance during presentation, so that the transmission of the information can be better focused on the audience as revealed by other studies [13].

In this case an application has been implemented for acting in the software AR-Media Plugin® of Inglobe Technologies® for Autodesk® 3DS MAX.

The main thing of the software developed consists in simulating the keystrokes and mouse movements which controls the AR-Media Plugin depending on the information received from the device controlled by the presenter.

Thus, with this movements acquired by the “data-glove” or model we can modify the parameters of the light source, its path or even show additional content of the project with no need to approach at the computer.

We are currently working on the first of the four phases in which the project is formed:

- **1<sup>st</sup> Phase: Project Definition:** Defining the problem; Proposed solution; Implementation; Study hypothesis.
- **2<sup>nd</sup> Phase: Study.** First tests; Data acquisition.
- **3<sup>rd</sup> Phase: Analysis.** Analysis of results; Hypothesis review; Proposed improvements.
- **4<sup>th</sup> Phase: Improvements.** Implementation; Test.

### 3 Materials and Methods

The lighting control is performed by an application in Visual Studio.net (VS.net) that is able to acquire data from external devices such as sensors, transducers and accelerometers, as in other references [14]. The developed system provides an effective solution for the data collection system in real practice [15].

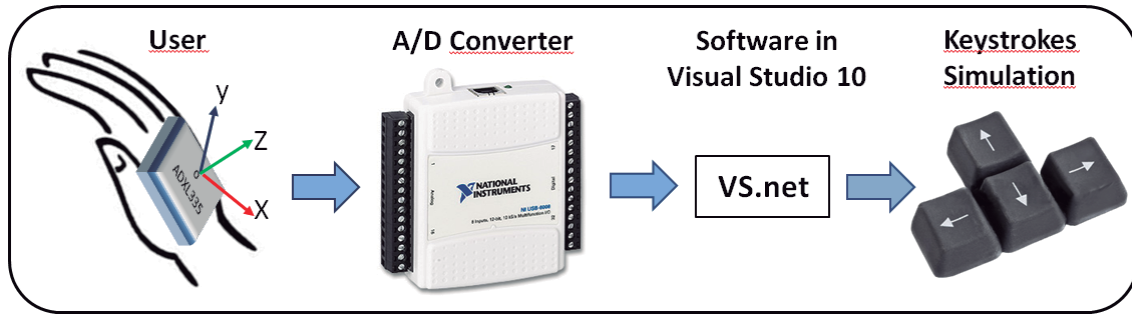
This particular project has been implemented in two versions, the wired version (A) and the wireless version (B) with same functionality but different features. In both cases we use the triple-axis ADXL335 accelerometer.

#### 3.1 Wired Version (A)

The accelerometer is embedded inside a polystyrene sphere “fig. 2”, simulating the Sun as light source. With NI-DAQ6009 from National Instruments® supplies 2.5V and capture input analogic signals in AI0, AI1, AI2.

This system proposed allows scanning full scale and captures the sensibility of the movement by the user changing the position of the light source. Once we have the signal digitalized and quantized a basal value is fixed corresponding to a neutral position of the accelerometer.

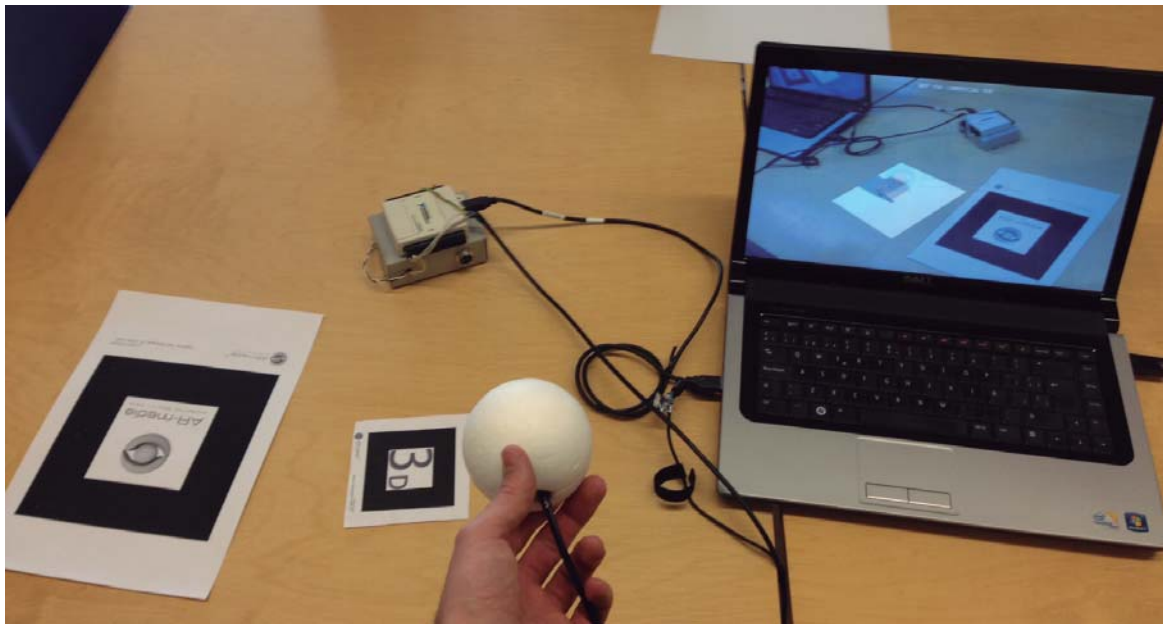
From this point, the movement of the data-glove modifies the output signal corresponding to x, y, z axis.



**Fig. 2.** Application architecture of version A

The developed software associates each value of the NI-DAQ6009 inputs with light controls of the plugin for modifying the position of the light source.

For moving the light source to the right, the software simulates the keyboard key “→”, move left “←”, move forward “↑” and move backwards “↓”. To move upwards in z axis the user needs to push the following key combination: “Ctrl+↑” and “Ctrl+↓”. The “Fig. 3” shows the diagram of the dataflow generation and acquisition.



**Fig. 3.** Image of the implementation with the wired polystyrene sphere and the NI-DAQ6009

### 3.2 Wireless Version (B)

In this case, two XBee® RF Modules are used [16]. These Modules, the 3-axis accelerometer and the breakout board FT232 RL USB to Serial are weld and configured properly “Fig. 4”.

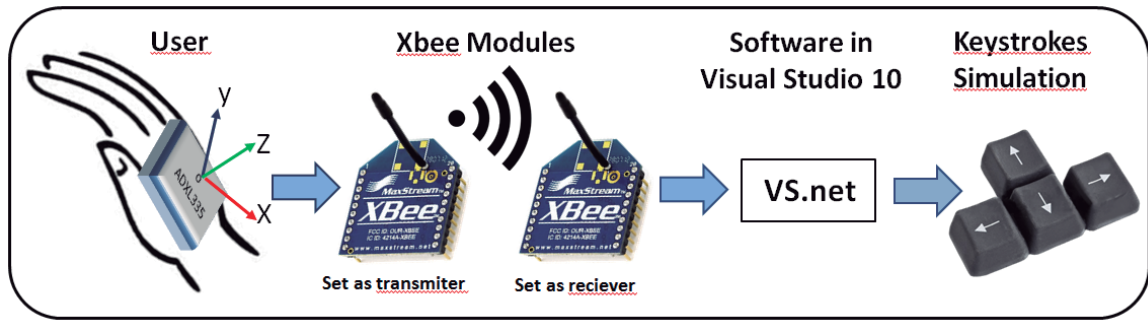


Fig. 4. Application architecture of version B

When connecting any analogical output of the accelerometer to any digital input of the XBee® set as a transmitter, it is important to know the behavior of the data transfer system. If the value of the signal from the accelerometer exceeds 2,5V, the behavior on the digital input it is like writing a “1” and when the value is lower than 2,5V, means writing a “0”.

This data package is received by the other XBee® module set as a receiver and transmitted to the PC via the breakout board FT232 RL USB to Serial port. The software reads this data package as data-glove movements and according to these values the keyboard keys are simulated “Fig. 5” in the plug-in AR-Media® in 3DS MAX® environment.

```

If X_Axis > 2.6 Then
    SendKeys.Send("{DOWN}")
End If
If X_Axis < 2.1 Then
    SendKeys.Send("{UP}")
End If
If Y_Axis > 2.6 Then
    SendKeys.Send("{RIGHT}")
End If
If Y_Axis < 2.2 Then
    SendKeys.Send("{LEFT}")
End If
    
```

Fig. 5. Commands in VS.net for simulating keyboard keys for x and y axis of the accelerometer. The same for z axis

## 4 Conclusions

The results of the design of the project make us to fix the target in the following concept: how is it possible to increase the ease of use in dynamic lighting control based on a data-glove with accelerometers or other human interface and the ability to interfere in advanced 3D visualization software with simple lines of code.

The partial control of the 3D software with two versions with the same functionality notes that the design of the project developed improves handling and speeds up

user interaction. Furthermore, the real-time gestures read by the device give more realism and makes the user immerse itself into the project.

This project has been developed in the department of Architecture La Salle, Campus Barcelona, Universitat Ramon Llull. The aim of the research is to find new ways to explore interaction of users with projects of architecture. This study case goes deep into the lighting processes of the architecture illumination. The interaction in real time could improve the strategies to project the shapes of architectural designs of the buildings in order to get profit of the solar radiation and being more energy efficient. This approach to solar studies will generate results which will be one way to reach a sustainable architecture thanks to Augmented Reality.

The next phase (modeled by the CAD/BIM/AR group of the same faculty), will be performed during the 2012-2013 academic year with students in their fourth year of an Architecture and Building Engineering degree. The experimental framework is in progress in the course “Sustainability and Energy Efficiency,” a nine-ECTS-credit course that is taught in the second semester.

In summary, this project presents a smart way to interact on very powerful software packages allowing emulate its commands from an external device equipped with sensors, accelerometers or other components integrated in data-gloves or data-suits. Simulating control commands with few lines of code enhance the presentation to a higher level. The solution tested in this project with 3DS MAX® and the AR-Media Plugin®, can be extrapolated to almost all 3D modeling and AR programs.

Next step in Phase 2 of the project is the evaluation with users to obtain results in order to study the first design and possible changes to improve the system.

## References

1. Sun, J., Hsu, Y.: Effect of interactivity on learner perceptions in Web-based instruction. *Computers in Human Behavior* 29(1), 171–184 (2013), doi: 10.1016/j.chb.08.002
2. Giesbers, B., Rienties, B., Tempelaar, D., Gijssels, W.: Investigating the relations between motivation, tool use, participation, and performance in an e-learning course using web-videoconferencing. *Computers in Human Behavior* 29(1), 285–292 (2013), doi: 10.1016/j.chb.2012.09.005
3. Feiner, S., Macintyre, B., Seligmann, S.: *Communications of the ACM - Special Issue on Computer Augmented Environments: Back to the Real World* 36(7), 53–62 (1993)
4. Google Project Glass ® (2013), <http://www.google.com/glass>
5. Brooks Jr., F.P.: Walkthrough—a dynamic graphics system for simulating virtual buildings. In: *Proceedings of the 1986 Workshop on Interactive 3D Graphics*, Chapel Hill, North Carolina, USA, pp. 9–21 (January 1987)
6. Kim, H.: A bird’s eye view system using augmented reality. In: *32nd Annual Simulation Symposium in Proceedings*, pp. 126–131 (1999)
7. Sánchez, J., Borro, D.: Automatic augmented video creating for markerless environments. *Poster Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Vision Theory and Applications, VISAP 2007*, pp. 519–522 (2007)
8. Sánchez, A., Redondo, E., Fonseca, D., Navarro, I.: Construction processes using mobile augmented reality. A study case in Building Engineering degree. In: *World Conference on Information Systems and Technologies (WorldCIST 2013)*, Algarve, Portugal, March 27-30 (2013)



9. Vechhia, L.D., Da Silva, A., Pereira, A.: Teaching/learning Architectural Design based on a Virtual Learning Environment. *International Journal of Architectural Computing* 7(2), 255–266 (2009), doi:10.1260/147807709788921976.
10. Redondo, E., Fonseca, D., Sánchez, A., Navarro, I.: Augmented Reality in architecture degree. New approaches in scene illumination and user evaluation. *International Journal of Information Technology and Application in Education (JITAE)* 1(1), 19–27 (2012)
11. Kalkofen, D., Mendez, E., Schmalstieg, D.: Comprehensible visualization for augmented reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 15, 193–204 (2009)
12. Fonseca, D., Marti, N., Navarro, I., Redondo, E., Sanchez, A.: Using augmented reality and education platform in architectural visualization: Evaluation of usability and student's level of satisfaction. In: *International Symposium on Computers in Education (SIIE)* (2012)
13. Blanchard, C., Burgess, S., Harvill, Y., Lanier, J., Lasko, A., Oberman, M., Teitel, M.: Reality built for two: a virtual reality tool. In: *Proceedings of the 1990 Symposium on Interactive 3D Graphics*, Snowbird, Utah, USA, pp. 35–36 (February 1990)
14. Fortin, P., Hebert, P.: Handling occlusions in real-time augmented reality: dealing with movable real and virtual objects. In: *The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision, CRV 2006*, p. 54 (2006)
15. Yan, H., Kou, Z.: The design and application of data acquisition system based on NI-DAQ. College of mechanical engineering, Taiyuan, China (2010)
16. ZigBee Technology, <http://www.digi.com> (retrieved on March 2012)

# Augmented reality uses in educational research projects: The “Falcones Project”, a case study applying technology in the Humanities framework at high school level

Isidro Navarro  
ETSAB, Universitat Politècnica de  
Catalunya Barcelona Tech  
Avda. Diagonal, 649  
08028, Barcelona, Spain  
+34 649111461  
isidro.navarro@upc.edu

Antonio Galindo  
La Salle Virgen del Mar  
Avda Federico García Lorca, 60  
04005, Almería, Spain  
+34 600 418 470  
a04galindo@gmail.com

David Fonseca  
Arquitectura La Salle, Universitat  
Ramon Llull  
C/ Quatre Camins 2  
08022, Barcelona, Spain  
+34-932902472  
fonsi@salle.url.edu

## ABSTRACT

In the present paper, we describe the methodology for the implementation of Augmented Reality (AR) on a project with high-school students, in order to display content related to the book *La reina descalza* (Ildefonso Falcones), which was presented at the official launch of the bestseller. The project was developed by a group of students in the Humanities and Technology specialties of the school La Salle Virgen del Mar, Almería, Spain. The method proposed is based on the recognition of the cover picture of the book, which acts as a mark of AR, allowing for the viewing of a series of digital images that are linked to multimedia content developed by the students. The proposed method is intended as a technologically advanced and entertaining system for use in educational environments that enables the display of information to students in addition to the printed documentation with which they are provided. The main objective of this work is a qualitative assessment of the use and adaptation of RA content in research projects at high school levels for displaying multimedia content.

## Categories and Subject Descriptors

H.5.1 [Information interfaces and presentation (e.g., HCI)]: Multimedia Information Systems-*Artificial, augmented, and virtual realities.*

K.3.1 [Computers and education]: Computer Uses in Education-*Collaborative learning*

## General Terms

Performance, Design, Experimentation, Human Factors

## Keywords

Augmented reality, educational research, human-computer interaction, mobile learning.

## 1. INTRODUCTION

One visualization technology that is gaining attention and being incorporated into every field of society is Augmented Reality (AR). Its creators [1] define AR as a version of virtual reality in which the user can see the real world with virtual objects mixed or

superimposed on it. Unlike virtual reality, AR does not replace the real environment; rather, AR uses the real environment as a background. The final result is a file with data, static images, or a dynamic 3D virtual model superimposed onto a real-time video of the environment [2]. This scene is shown to the user via a computer screen or other device, such as a projector, digital board, special glasses, smartphone, or tablet. This concrete superposition capability between virtual models and reality makes this technology an interesting resource in any type of teaching that aims to improve students' spatial comprehension [3]. The primary questions currently relating to this field of research are how to incorporate AR in the classroom and how to evaluate the experience, in order to increase the motivation, satisfaction, and the curriculum.

The case study presented in this paper was carried out with first-year students of the high school La Salle Virgen del Mar, in Almería, Spain. The students of this educational center collaborated with the La Salle Campus Barcelona (Ramon Llull University) to create the ‘Falcones project,’ which involved generating AR content AR with the photo on the cover of *La reina descalza*, the latest bestseller by writer Ildefonso Falcones. A study of this was carried out to assess the experience (user experience evaluation of the project using a qualitative method) and the feasibility of incorporating AR in an active way in new educational processes at high school levels.

## 2. THEORETICAL, PEDAGOGICAL AND DIDACTIC FOUNDATIONS

There are extensive amounts of studies of the relationship between student motivation, degree of satisfaction, and the user experience or student perception in the interaction with and teaching of applied collaborative works, with recent contributions having helped to design new e-learning experiences or dislocated teaching using IT (Information Technologies) [4,5]. This is not however the case when the focus is the use of mobile technology and AR applications, which are more extensively studied from a technological perspective or from the perspective of sociological and communication impacts instead of its educational capacity or ability to transform teaching, which is the focus of the present and previous studies implemented by our team [3, 6-7].

Recent uses of AR in the areas of entertainment and education demonstrate the potential of this technology [8-11]. In education, however, AR might be considered a new tool, and further studies are necessary, particularly in order to devote attention to the user experience, learning process, and its entertainment capability, which can increase interest in less interesting classes, including

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from Permissions@acm.org.

TEEM '13, November 14 - 15 2013, Salamanca, Spain  
Copyright 2013 ACM 978-1-4503-2345-1/13/11... \$15.00  
<http://dx.doi.org/10.1145/2536536.2536599>

classes in which the content is presented with no interaction with the student.

The implementation and the use of IT in classrooms, schools, colleges and universities is a *fait accompli*, having become especially extensive during the last decade. We can find examples ranging from early childhood education (with the use of digital whiteboards), through secondary education (the widespread use of computers in almost every subject), to higher education, with specific and advanced uses of all types of media, highlighting the internet and all kinds of intranets and digital solutions [12].

Parallel to this process, new technologies such as the e-book have revolutionized the publishing industry. Publication in digital format has eliminated the barrier of the requirement for the physical support of the book or magazine to make content accessible through all kinds of devices. The resulting extension of the ability to acquire, read and store publications has enabled an innovation in content management, and users now have the ability to customize their experience of reading and to adapt the format to their desires.

The first initiatives similar to the use of RA for the adding of multimedia content in printed documents were the intermediate use of QR codes (Quick Response codes). One of the first examples of this use was Ubimark's adaptation of Jules Verne's classic *Around the World in 80 Days*, which was enhanced with QR codes that incorporate additional information such as videos or images the user is able to see from the mobile device (Fig. 1).

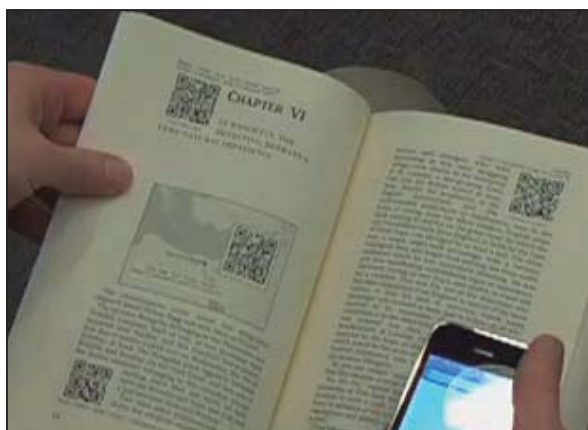


Fig. 1 <http://2d-code.co.uk/around-the-world-with-qr-codes/>

However, RA is currently most widely used in advertising and marketing before that in editorial content, being in this way an innovative project in the scope of application, as well as in the fields of development and education. At the basis of the educational project is a use of IT elements capable of providing better representation and formulation of the concepts dealt with in the subject, overcoming the difficulties of the learning process without forgetting the students' prior knowledge, and, perhaps most significantly, allowing for a flexible, collaborative environment, which marks a radical departure from the notion of a simple repository of information. Achieving these principles, we will improve not only the expected skills of self-learning and resource management of the student, but also, in an intrinsic way, will be providing capacities related to research and reflection [13], training the student in understanding and deepening of the knowledge presented [12].

### 3. METHOD

The project was developed during the second half of the 2012-2013 academic year as a research activity in the subject CMC ("Ciencias para el Mundo Contemporáneo" – Science for the Contemporary World) among first-year students of the high school La Salle Virgen del Mar, Almería, Spain. The implementation of this was achieved by way of the following:

- Five students were commissioned to develop the technology platform for using AR. They were responsible for the preparation of the picture on the cover as a generic mark as well as the virtual images that linked with the multimedia content.
- Eight students developed both the multimedia content and the documentation associated with it. In addition to generating a presentation using AR, they also generated a Prezi explanation.
- Two members of staff coordinated both groups: the lecturer in charge of CMC and a consultant of the La Salle Campus Barcelona specializing in AR.

The students worked in two groups separated in the areas of technology and documentation to generate the audiovisual and digital content designed for the cover of the book (published by the publisher Random House Mondadori-Grijalbo and currently for sale).

#### 3.1 Phases of the project (Chronology)

This initiative arose from a contest for research projects called LSdreams (<http://lsdreams.lasalleuniversities.net/>), directed to all La Salle schools of the RELEM region (Région Lasallienne Européenne-Méditerranéenne). In the third edition of this contest the winning group in the category of Engineering was formed by five students of La Salle Virgen del Mar, which co-operated with La Salle Campus Barcelona for this initiative.

The project started at the beginning of April 2013, and proceeded via the following steps:

- Explanation of the protocols for working with RA from different applications and selection of that to be used in the experience, Aurasma. This process was done in a compacted schedule of about six hours of work over two days.
- Selection of physical work on which to deploy the experience. Given that the visit of Ildefonso Falcones to the college to present his latest book was scheduled in early May, it was decided to use the cover of the book to develop multimedia content related to the storyline of it. The contents selected for development were:
  - Biography of the writer Ildefonso Falcones.
  - History of the gypsies in Spain, affecting the Great Raid of 1751.
  - Slavery in Spain during the 18th century.
  - Tobacco in the 18th century.
  - The city of Seville in 1750.
  - The Coliseum of the Prince in the 18th century, explaining the situation and the typology of the spectator of the time.
- The presentation of the content described above was done by way of:
  - Enlargement of the book used as support to display the content using Prezi.
  - Video recording, for some of which professional dancers were hired.
  - Re-formatted videos for AR visualization.

Augmented reality uses in educational research projects: The “Falcones Project”, a case study applying technology in the Humanities framework at high school level

### 3.2 Technological implementation description

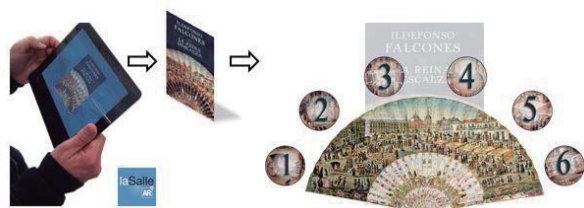
As we have stated previously, the process began by distributing the work (Fig. 2) into two parts:

- The training of students in the creation of content with RA. This process was carried out in three sessions for a total of six hours, during which the work with QR codes, the technique to relate content with recognition of image (image-tracking), and the deployment of AR content using Aurasma platform were explained.
- The other group developed the necessary documentation for the submission. These students were responsible for describing the subjects selected using the online PREZI software, which in a later iteration will be transformed into video format to fit into the Aurasma platform.



Fig. 2 Presentation of the groups of the project with students and teachers

The next phase of work focused on the creation of the sequence of digital images that will show on the cover of a book with AR when it is captured with a mobile device with a camera and with the selected application. (In order to be able to view the multimedia content generated, it is necessary to download the application ‘La Salle AR,’ available for the Android systems in Google Play (<http://goo.gl/agdYV>), and IOS in iTunes (<http://goo.gl/lcCWH>.) This can be seen in Figure 3:



**Fig. 3 Example of interactive menu visualized with AR on the cover of the book La reina descalzada, Ildefonso Falcones, 2013.** The process of content generation is distributed over four steps to define the final interaction with AR. The first step is the design of the images, called ‘Triggers,’ which will be tracked to start the RA experience. These images will be placed in the cover of the book in digital format (Fig. 4). The second step is the definition of the ‘Overlays’: these are the videos about the themes related to the book made by the students of the second group. These files are optimized to a maximum of 100 Mb in order to make the experience rapid and useful. The third step is the definition of the relationship between the Trigger image and the Overlays. In this step, the AURASMA platform allows for both to be combined in a desktop where students place each Overlay over the Trigger image (Fig. 4). They must configure the actions between the Overlays to play correctly with the application. This configuration is probably the most difficult step in the process. The support by the teachers was increased at this point. The fourth point consists in creating and sharing the Channel for publishing. This is the final process, and is very easy for the students to do.

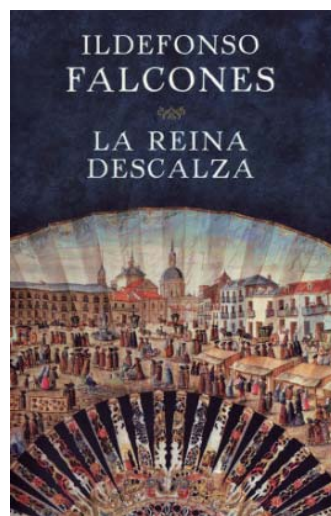


Fig 4. Cover (Trigger image) and configuration with AURASMA.

## 4. RESULTS

Qualitative methods are commonly employed in usability studies and, inspired by experimental psychology and the hypothetical-deductive paradigm, employ samples of users who are relatively limited. Nevertheless, the Socratic paradigm from postmodern psychology is also applicable and useful in these studies of usability because it targets details related to the UX with high reliability and uncovers subtle information about the product or technology studied [14].

This migration from the hypothetical-deductive paradigm to the Socratic paradigm was inspired by the paradigm shift in clinical psychology away from constructivism and toward other post-modern schools of psychotherapy. This psychological model defends the subjective treatment of the user, unlike the objective hypothetical-deductive model [15].

Starting from Socratic paradigm basis, the BLA system (Bipolar Laddering) has been designed. BLA method could be defined as a psychological exploration technique, which points out the key factors of user experience.

The main goal of this system is to ascertain which concrete characteristic of the product entails users’ frustration, confidence or gratitude (between many others). BLA method works on positive and negative poles to define the strengths and weaknesses of the product. Once the element is obtained the laddering



technique is going to be applied to define the relevant details of the product.

The object of a laddering interview is to uncover how product attributes, usage consequences, and personal values are linked in a person's mind. The characteristics obtained through laddering application will define what specific factors make consider an element as strength or as a weakness. BLA performing consists in three steps:

1. Elicitation of the elements: The implementation of the test starts from a blank template for the positive elements (strengths) and another exactly the same for the negative elements (weaknesses). The interviewer (in this case an academic tutor) will ask the users (the student) to mention what aspects of the subject and experiment they like best or which help them in their tasks.

The elements mentioned need to be summarized in one word or short sentence. This first step may be open or limited, i.e., positing a number of aspects without limits or reducing them to a specific number, as in our case where every student was asked to indicate three positive aspects and three negative ones.

2. Marking of elements: Once the list of positive and negative elements is done, the interviewer will ask the user to mark each one from 0 (lowest possible level of satisfaction) to 10 (maximum level of satisfaction).

3. Elements definition: Once the elements have been assessed, the qualitative phase starts. The interviewer reads out the elements of both lists to the user and asks for a justification of each one of the elements performing laddering technique. Why is it a positive element? Why this mark? The answer must be a specific explanation of the exact characteristics that make the mentioned element a strength or weakness of the product.

Once the element has been defined, the interviewer asks to the user for a solution of the problem he just describes in the case of negative elements or an improvement in the case of positive elements. (Fig. 5) shows an example of the BLA test used:

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

POSITIVOS (3) - en una palabra/frase	NEGATIVOS (3) - en una palabra/frase
1. Tecnología muy interesante, útil y novedosa, además de divertida.	4. La rapidez y satisfacción de los datos presentados.
2. Muy buena actitud del profesor, combatiendo incluso después de varias veces Google+.	5. Mala organización de la información de la actividad o la forma de llevarla a la práctica.
3. A través de Internet de IESU el profesor ayudando a los alumnos de forma de pago.	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 más cosas más como que de verdad hubieran sido muy útiles pero la vista ya fue de por sí muy interesante.
2. La verdad es que la atención ha sido bastante interesante.
3. No podían ser más generosos.
4. Un poco más de tiempo hubiera sido ideal para profundizar la teoría, también haber y mejorar la organización.
5. Muy poca gente disfruta de la tecnología del día de la presentación, hace falta darle más peso.

Fig.5 BLA Sample Test.

From the results obtained, the next step was to polarize the elements based on two criteria:

1. Positive (Px) / Negative (Nx): The student must differentiate the elements perceived as strong points of the experience that helped them to improve the type of work proposed as are useful, satisfactory, or simply functional aesthetic, in front of the negative aspects that did not facilitate work or simply need to be modified to be satisfactory or useful.
2. Common Elements (xC) / Particular (xP): Finally, we separated the positive and negative elements that were repeated in the students' answers (common elements) and the responses that were only given by one of the students (particular elements).

The common positive elements (PC) were the use and explanation of the AR technology (Mention Index: 100%, Average score: 9.67), and the help/support of the faculty (MI: 100%, Av: 9.00). The common negative elements (NC) we can highlight were the lack of time to practice with this technology (MI: 100%, Av: 3.67), and insufficient publicity given to the project (MI: 66.5%, Av: 3.50).

If we analyze the solutions and improvements for both the strengths and the weaknesses identified, the majority focuses on two fundamental aspects: the need for more time in the explanation of the AR technology, including more details, other programs and applications, etc.; and improving the timing of the experiment, because on this occasion more extensive attention was paid to the assistance of the famous author and the presentation of his work, to the detriment of the work with the AR technology. Another factor in this respect was that the project did not have the expected media impact, which is an issue to improve in possible future initiatives.

## 5. CONCLUSIONS

The main conclusion that we can extract from the initiative is the high degree of involvement, motivation and satisfaction of students in the use and development of content for viewing through the RA. The additional fact of working on a high profile piece of literature and having the support of the author in the official presentation of the book on the one hand led to an increase in students' motivation to develop the experience, but also, on the other, may have led to too many resources and time being devoted to institutional contacts that have detracted from the technological development, the key aspect from the academic point of view. Similarly, interviews conducted with students demonstrated that there was a general perception of a lack of a greater impact of the exercise, associated directly with the impact of the work. In this line, and waiting for effective implementation, the editorial Grijalbo confirmed that both the news and the content that has been developed will be published on its webpage, due to the quality of the generated elements.

This experience makes possible replication in future courses, exploring new content for literary works or those related to the world of the arts. This will enable these students to study the contents of these subjects from a technological point of view, which has been found to be highly satisfactory and motivating.

## 6. REFERENCES

- [1] Milgram, P., and Takemura, H., 1994. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. *Telematic and Telepresence Technologies*, 2351, 282-292.

Augmented reality uses in educational research projects: The “Falcones Project”, a case study applying technology in the Humanities framework at high school level

- [2] Billingham, M., Kato, H., and Poupyrev, I., 2011. The MagicBook – moving seamlessly between reality and virtuality, *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21, 3, 6-8.
- [3] Fonseca, D., Martí, N., Redondo, E., Navarro, I., and Sánchez, A., 2013. 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*. doi:10.1016/j.chb.2013.03.006.
- [4] Sun, J., and Hsu, Y., 2013. Effect of interactivity on learner perceptions in Web-based instruction. *Computers in Human Behavior*, 29, 1, 171-184, doi: 10.1016/j.chb.2012.08.002.
- [5] Giesbers, B., Rienties, B., Tempelaar, D., and Gijssels, W., 2013. Investigating the relations between motivation, tool use, participation, and performance in an e-learning course using web-videoconferencing. *Computers in Human Behavior*, 29, 1, 285-292. doi: 10.1016/j.chb.2012.09.005.
- [6] Redondo, E., Sánchez, A., Perede, A., and Fonseca, D., 2013. Geo-Elearning: Geolocated Teaching in urban environments through mobile devices. A case study and work in process. In Schumaker, R. (Ed.), *15th International Conference on Human-Computer Interaction, Part II, Lecture Notes in Computer Science - 8022-*, Springer, Heidelberg, 188-197.
- [7] Navarro, I., Fonseca, D., Redondo, E., Sánchez, A., Martí, N., and Simón, D., 2012. Teaching Evaluation Using Augmented Reality in Architecture, Methodological Proposal. In *Actas de la Conferencia 7º Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. Madrid, Spain*, 685-690.
- [8] Galantay, R., Torpus, J., Engeli, M., 2004. “Living-room” Interactive, Space-Oriented Augmented Reality. In *Proceedings of the 12th annual ACM international conference on Multimedia '04*. ACM Press, New York, New York, USA, 64–71.
- [9] Brederode, B., Markopoulos, P., Gielen, M., Vermeeren, A., and de Ridder, H., 2005. pOwerball, the design of a novel mixed-reality game for children with mixed abilities. In *Proceedings of the 2005 conference on Interaction design and children - IDC'05*. ACM Press, New York, New York, USA. 32-39.
- [10] Alvarez, C., Alarcon, R., and Nussbaum, M., 2011. Implementing collaborative learning activities in the classroom supported by one-to-one mobile computing: A design-based process. *Journal of Systems and Software*, 84, 1961-1976.
- [11] Di Serio, Á., Ibáñez, M.B., and Kloos, C.D., 2012. Impact of an Augmented Reality System on students' motivation for a visual art course. *Computers & Education*, 68, 586-596.
- [12] Martí, N., and Fonseca, D., 2013. Active Learning Units Interrelated using TIC's Tools in Archit. Construction. *Teoría de la Educación - Educación y Cultura en la Sociedad de la Información (TESI)*, 14, 2, 371-397.
- [13] Prieto, C., Rodríguez, C., Hernández, A., and Queiruga, A., 2011. Experiencias docentes de trabajo colaborativo en distintas áreas de ciencias. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, 12, 4, 133-146.
- [14] Pifarré, M., and Tomico, O., 2007. Bipolar laddering (BLA): a participatory subjective exploration method on user experience. In *Proceedings of the 2007 conference on Designing for User eXperiences (DUX '07)*. ACM, New York, NY, USA.
- [15] Guidano, V.F., 1989. Constructivist psychotherapy: A theoretical framework. In Neimeyer, R. A., and Mahoney, M. J. (Eds.), *Constructivism in Psychotherapy*. Cambridge University Press, Cambridge.]
- [16] Fonseca, D., Pifarré, M., Redondo, E., Alitany, A., and Sánchez, A., 2013. Combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas (BLA), en el análisis de implantación de nuevas tecnologías en el ámbito docente. Uso de la Realidad Aumentada en la visualización del proyecto arquitectónico. In *Actas de la Conferencia 8º Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*. 205-211.



Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

## Computers in Human Behavior

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/comphumbeh](http://www.elsevier.com/locate/comphumbeh)

# Relationship between student profile, tool use, participation, and academic performance with the use of Augmented Reality technology for visualized architecture models

David Fonseca<sup>a,\*</sup>, Nuria Martí<sup>a</sup>, Ernesto Redondo<sup>b</sup>, Isidro Navarro<sup>b</sup>, Albert Sánchez<sup>c</sup><sup>a</sup>Architecture School, La Salle, Universitat Ramon Llull, Quatre Camins 2, 08022 Barcelona, Spain<sup>b</sup>ETSAB, Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech, Avda. Diagonal 649, 2<sup>o</sup>, 08028 Barcelona, Spain<sup>c</sup>EPSEEB, Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech, Avda. Gregorio Marañón, 08028 Barcelona, Spain

## ARTICLE INFO

## Article history:

Available online 10 April 2013

## Keywords:

Augmented Reality  
Technology acceptance  
Academic motivation  
Architecture visualization  
Mobile learning  
User experience

## ABSTRACT

In this study, we describe the implementation and evaluation of an experiment with Augmented Reality (AR) technology in the visualization of 3D models and the presentation of architectural projects by students of architecture and building engineering. The proposal is based on the premise that the technology used in AR, such as mobile devices, is familiar to the student. When used in a collaborative manner, the technology is able to achieve a greater level of direct engagement with the proposed content, thereby improving academic outcomes. The objective was to assess the feasibility of using AR on mobile devices in educational environments and to investigate the relationship between the usability of the tool, student participation, and the improvement in academic performance after using AR. The validation was performed through a case study in which students were able to experience a virtual construction process overlapped onto real environments. Results were obtained by students' pre-tests and post-tests. In line with our assumptions, the use of mobile devices in the classroom is highly correlated with motivation, and there is a significant correlation with academic achievement. However, the difficulty of using and generating content is a complex factor that suggests difficulty when implementing more complicated models.

© 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Information Technology (IT) represents a set of tools and applications that allow the incorporation and strengthening of new educational strategies, many of which have been defined in new teaching frameworks in the last two decades (Dede, 2000). In an international educational framework, such as the European Higher Education Area (EHEA), which runs the university studies of member countries, such as Spain, where this project was undertaken, the application of IT in the educational process is particularly relevant. The interest of educators in using these technologies in the teaching process presupposes greater engagement and an increase in student motivation in understanding the content (Kreijns, Acker, Vermeulen, & Buuren, 2013; Roca & Gagné, 2008; Shen, Liu, & Wang, 2013), leading to improved academic results. A number of studies have investigated the questions, problems, and solutions that allow for educational innovation using IT (Guiliarte Martín-Calero, 2008) and many types of comparative educational practices

and test the effects of incorporating these practices into the learning/educational process (e.g., Law, Pelgrum, & Plomp, 2008).

With regard to university teaching, specifically the fields of architecture and building engineering, space visualization and conceptualization are essential aspects that the student must master before initiating his/her professional career (Leopold, Górska, & Sorby, 2001). Tools that use computer-assisted design (CAD) technologies and, more recently, building information modeling (BIM), help to create virtual models that are nearly identical to actual structures and have great capacities for architecture management and teaching discussion. Because of the improvements and evolution of this tool, which can be grouped into wider concepts, such as architecture engineering construction (AEC) or computer-aided architectural design (CAAD), the usefulness of such technologies as computers and design programs in teaching is clear (Al-Qawasmí, 2005; Doabelis & Brinkis, 2006; Pozzi, 2012). Combined with the continuous development of and cost reductions in mobile technologies, both professionals and students can increase their working capacity and use programs and technologies that allow them to manage, visualize, discuss, and evolve every type of model and project more efficiently in both 2D and 3D (Bouchlaghem, Shang, Whyte, & Ganah, 2005).

\* Corresponding author. Tel.: +34 932902430.

E-mail addresses: [fonsi@salle.url.edu](mailto:fonsi@salle.url.edu) (D. Fonseca), [nmarti@salle.url.edu](mailto:nmarti@salle.url.edu) (N. Martí), [ernesto.redondo@upc.edu](mailto:ernesto.redondo@upc.edu) (E. Redondo), [isidro.navarro@upc.edu](mailto:isidro.navarro@upc.edu) (I. Navarro), [albert.sanchez.riera@upc.edu](mailto:albert.sanchez.riera@upc.edu) (A. Sánchez).



One visualization technology that is gaining attention and is being incorporated into every field is Augmented Reality (AR). Its creators (Milgram & Takemura, 1994) define AR as a virtual reality variation in which the user can see the real world with virtual objects mixed or superimposed upon it. In contrast to virtual reality, AR does not replace the real environment; rather, AR uses the real environment as a background. The final result is a file with data, static images, or a dynamic 3D virtual model superimposed onto a real-time video of the environment (Billinghurst, Kato, & Poupyrev, 2011; Kaufmann, 2002). This scene is shown to the user via a computer screen or other device, such as a projector, digital board, special glasses, smartphone, or tablet. This concrete superposition capability between virtual models and reality makes this technology an interesting resource in any type of teaching in which improving students' spatial comprehension may be required. The present study is performed within the context of the use of AR in architecture and building engineering instruction to improve students' spatial comprehension, a topic that few studies have investigated (Broll et al., 2004; Malawi & Srinivasan, 2004; Piekarski & Thomas, 2001; Tonn, 2008). However, the main problem in architecture and building construction is how to integrate virtual objects with actual images. The integration must be accurate and at the right scale to achieve the hypothetical situation and size matching in an actual scene. If a student can control these parameters and avoid possible mistakes, he/she will achieve an improvement in spatial capacity for analyzing any type of architectural figure using a familiar technology, such as his/her own mobile device (e.g., laptop or telephone) and can work collaboratively in knowledge creation and generation with his/her classmates and the faculty.

The present study has two main objectives. First, we analyze the implementation process, the difficulties of use, and the degree of student satisfaction when using an advanced visualization technology with personal mobile devices. Second, we investigate the relationship between motivation, participation, and final academic grades of university students. Analyzing the results of these objectives will lead to a better understanding of how to implement new teaching methods with mobile technologies. Thus, greater acceptance and motivation from the student body will be achieved. In an intrinsic manner, online content adaptation and new synchronous and asynchronous e-learning methods should have characteristics that would theoretically be demonstrated in improvements in spatial abilities and academic grades for architecture students.

## 2. Literature review

### 2.1. Good practices for technology acceptance

The interest, need, and urgency of implementing new technologies in education and universities in particular is a relatively new situation (Rogers, 2000). However, technological innovation, which is intended to improve the student learning process, must be capable of providing support to address difficulties that could arise with the student in the use of and interaction with technological elements. These elements must not obstruct the auto-learning process, which is altered by this technology, and the students must be motivated with the new educational methodology.

It is not unusual for the faculty to be the first line of resistance against technological innovations in teaching. There is a natural reticence in the academic field about the use of technologies that are associated with leisure or personal relationships, such as mobile devices (e.g., telephones, tablets, iPods), the Internet, texts, and audio content, such as podcasts. It is beneficial to consider that appropriate content for these devices does not displace teaching but rather provides increased value and positive student perceptions of the subject being taught. Callaway (2009) tied the use of

technologies that are familiar to students to better academic performance, one of the recent principal "fears" of professors with their implementation.

Another major deterrent to implementing IT in teaching is the administrative environment: professors must be trained (Georgina & Olson, 2007) and must be capable of giving full-time support to students, the success of which is dependent on the professors' willingness and ability to devote the time required for the training, modification, and actualization of the related content, including a post-evaluation of all processes (Champeny et al., 2004). These premises assume an economic investment that not all institutions will accept (Hu, 2006) and that many teachers will not make unselfishly (Milliken & Philip-Barnes, 2002). Without a motivated teacher and environment, the success of implementation will be decreased and the student will have a negative perception of IT usage in education, which could evolve into a lack of interest in the subject.

To incorporate a new IT-based methodology into a specific teaching environment, some recommendations for avoiding student rejection must be considered. The literature defines so-called "good educational practices" that are primarily focused on virtual rooms, distance education (or e-learning), and semi-present teaching (Área, San Nicolás, & Fariña, 2010). These studies have focused on maximizing profit from web service content, alternative methods using the intranets of each university, and auto-evaluation systems of information (Chickering & Gamson, 1987; Epper & Bates, 2004; González & Rodríguez, 2010). From the specific characteristics that shape these practices, four points can be extrapolated, as indicated by the following principal objectives:

- Promotion of professor-student relationships, allowing for a more effective feedback process.
- Dynamic development among students, which is made possible by collaborative techniques.
- Contribution to better task realization by heterogeneous learning methods, meeting high expectations.
- Applying teaching/learning methods based on teaching innovation and new IT technologies.

Considering previous recommendations and logical premises based on such cognitive studies as those of Gantt (1998), who asserted that human beings have a short-range retention capacity of 20% of what is heard and 75% of what is seen and done, it is necessary to migrate the traditional master class (where the student is limited to taking notes of what he/she hears and sees) to a learning system in which the student is an active content generator. This new paradigm is desirable as an optimal learning model, allowing student involvement in the subject and content and the ability to study collaboratively. Similar to what occurred with Internet content (i.e., the evolution to Web 2.0 or 3.0), the student is given an active profile (referred to as a "3.0 student"), and the student who is aided by more familiar technologies is able to place himself/herself in a more comfortable and satisfactory study environment.

In accordance with Massy and Zemsky (1995), any methodology that promotes the inclusion of IT in teaching must have the following objectives:

- Personal production help: applications that allow both the professors and students to carry out tasks faster and more efficiently (e.g., calculation sheets or text processors, draw programs).
- Content improvement: the use of tools that allow for the notification and modification of content rapidly and efficiently (e.g., e-mail, digital content, video, multimedia resources) without changing the basic teaching method.
- Paradigm change: at this level, the teacher reconfigures the teaching activity and learning activities to utilize the new incorporated technologies.

Examples of educational methodologies that have implemented the two first objectives are common, but examples that incorporate the third objective are much less common. In those cases in which the third objective is implemented, most of the solutions involve basic tools and derived applications of an Internet connection (Ruiz & Abella, 2011) while taking for granted the presence of mobile devices or an Internet connection, not for advanced options, such as analysis, interaction, or professional visualization, as proposed by the present study. The following is an analysis about how the incorporation of mobile technology leads to content and teaching dislocation and how the use of technology that is familiar to the user (in our case, the student) generates an intrinsic increase in motivation to use this type of content.

## 2.2. New learning strategies, from e-learning to mobile learning using AR

The study of the relationship between student motivation, degree of satisfaction, and the user experience or student perception in the interaction with and teaching of applied collaborative works is extensive, with recent contributions that have helped to design new e-learning experiences or dislocated teaching using IT (Giesbers, Rienties, Tempelaar, & Gijsselaers, 2013; Sun & Hsu, 2013).

The same is not true when the focus is the use of mobile technology and AR applications, which are more extensively studied from a technological perspective (the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR) is the global reference in these advances) or from the perspective of sociological and communication impacts (as addressed by the annual conference of the International Communication Association) instead of its educational capacity or ability to transform teaching, which is the focus of the present study.

The evolution of mobile technologies and the increased power and sophistication of mobile phones, which has led to the advent of smartphones and tablets in the last five years, have created a new body of research on the use and optimization of these devices in ubiquitous training, allowing for both onsite and virtual collaborative work with faculty members and students (Lu, 2012; Parsons, 2012). The increasingly advanced and comprehensive but easy-to-navigate applications directly generate a greater utility perception from the user and a better attitude about using this technology (Kuo & Yen, 2009); these premises represent one starting point for a more consistent inclusion of these technologies in teaching.

These new practices or teaching strategies, which are based on mobile collaborative environments and the use of social media, are defined and grouped in recent works, such as the book entitled *Social Media and the New Academic Environment: Pedagogical Challenges* (Patrut, Patrut, & Cmeciu, 2013). Expanding on the definition of the "Learning 3.0" concept, it is possible to define a personalization of the generic "M-Learning" concept, which has the following principal characteristics: the interaction between the user and content, the contribution of media to immersive environments, the incorporation of communication technologies, the use of new contexts for education, and the awareness that sharing and recording the process of learning is possible. The definition of Learning 3.0 includes technology because it involves the provision of collaborative tools, such as blogs and wikis (Moran, Seaman, & Tinti-Kane, 2011), mobile-device interactions (e.g., iPhones, Android mobile phones, Wiis, iPods), new virtual simulation training environments (e.g., Second Life, AR), and connectivity tools for searching locations (e.g., 2D codes, Google Maps). The collaborative training tools between teachers and students can be strengthened when they use familiar technological resources where students can demonstrate their receptiveness. The integration of mobile devices

with multimedia applications provides students with immediate access to information (unlike traditional methods) and expands their experience beyond the academic environment.

There are few documented relevant teaching experiences. Within the framework of medical education, we studied the availability of medical information anywhere interactively through mobile interactive learning objects (MILOs) (Holzinger & Maurer, 2005). In addition, applications have been reported for language learning (Chinnery, 2006) and university organization management through personal digital assistants (PDAs) (Corlett, Sharples, Chan, & Bull, 2005), allowing for schedule consultation, calendars, messaging, and teaching materials. It is also important to cite studies in archeological and historical frameworks (Ardito, Lanzilotti, Pederson, & Piccinno, 2008) that are relevant to the present study because they focused on outdoor teaching strategies, in addition to studies focused on geology and the natural sciences (Yuh-Shyan, Tai-Chien, & Jang-Ping, 2005).

Although a qualitative assessment of results and teacher recommendations is still pending in the above mentioned studies. On the other hand, highlight the specific case of education in architecture and urban planning where those type of studies are practically nonexistent, but they are necessary because the location of a building or city and its context (e.g., the resident's living experiences, transverse and setting knowledge) are essential for understanding and designing all types of geographical information (Lynch, 1998; Norberg-Schulz, 1971). The first studies that evaluated the use of IT in teaching activities related to architecture/construction were focused on the use of whiteboards, interactive books, social media, and other resources related to the visualization of 3D models, buildings, and spaces in architecture education (Rafael, Pérez, & Dueñas, 2006; Wang & Schnabel, 2006; Whyte, Bouchlaghem, Thorpe, & McCaffer, 2000).

More recently, immersive technologies have been used in virtual and AR worlds, and their usefulness has been assessed by a number of international projects (Alvarez, Alarcon, & Nussbaum, 2011; Brederode, Markopoulos, Gielen, Vermeeren, & de Ridder, 2005; Di Serio, Ibáñez, & Kloos, 2012; Galantay, Torpus, & Engeli, 2004; Pan, Cheok, Yang, Zhu, & Shi, 2006). These experiences, which used AR in the areas of entertainment and education, demonstrated the vast potential of this technology. In education, however, AR might be considered a new tool, and further studies are necessary, with particular attention paid to the user experience and learning process. Concretely, the entertainment capability of these technologies can increase interest in less interesting classes, including classes in which the content is presented with no interaction with the student, which could lead to demotivation and loss of interest (Chen & Wang, 2008; Di Serio et al., 2012).

AR and virtual reality (VR) share common features, including immersion, navigation, and interaction (Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2008). However, AR has two main advantages over VR. First, AR allows for collaborative experiences in a real scene. Users can work with computer-generated objects as if they were real objects in a real environment, in real time. Second, AR allows for tangible interactions. By superimposing virtual objects onto a real environment through markers, the user can modify and manipulate the scale, position, and location of virtual objects. AR technology, by providing new interaction possibilities, promotes active student participation in its own knowledge construction.

## 2.3. 3D digital and mobile visualization of content in architecture framework

In architecture education, the visual component is one of the more relevant aspects with which the student works and studies and which the student must correctly interpret (Boeykens, Santana-Quintero, & Neuckermans, 2008). Spatial information is rep-

resented in a number of ways, ranging from traditional methods, such as printed plans and physical models (working from 2D to 3D), to modern methods, such as digital printed plans and tridimensional models, which allow a greater level of detail and the ability to navigate and actualize potential changes instantaneously (Fonseca, Redondo, Sánchez, Villagrasa & Martí, 2012). The different methods of visualization allow both students and professionals to work collaboratively and communicate their ideas and the space and project more efficiently (Bouchlaghem et al., 2005).

Focusing on the specific case of AR, previous studies have suggested that the introduction of this technology is feasible in different areas of the architectural education framework, including design, excavation, staking, inspection, coordination, and supervision of tasks (Shin & Dunston, 2008). Specifically, in the field of architecture and urbanism, AR can be used to predict the impact of construction on the landscape (Sánchez & Borro, 2007). In the rehabilitation of buildings, AR has been tested as a tool for viewing the final appearance of the work and changing materials, colors, and textures on mobile devices at a one-to-one scale (Tonn, Petzold, Bimber, Grundhöfer, & Donath, 2008). This capacity of AR technology, which shows a “completed” reality superimposed on reality, allows for the creation of an impossible image of what does not exist as a result of the analysis of existing building systems (e.g., structural, facilities, and envelope) and geo-location and photo composition. AR could facilitate rehabilitation and maintenance tasks, systems verification, and interactive updates in the same place and in real time, promoting more efficient management and control processes of building construction elements (Sánchez, Redondo, Fonseca, & Navarro, 2013). All of these improvements in space visualization and interpretation have clear relevance to the professional world and lead to a teaching process that allows for the rapid assimilation of concepts by the student (Vechhia, Da Silva, & Pereira, 2009).

One of the main problems encountered in the design phase of this type of educational experiment is how to display 3D models in mobile devices to allow different interactions to occur easily and inexpensively using free options. Our belief is that the success of a technology-based education depends largely on the accessibility of technology and the ease of use by teachers and students, in accordance with other studies that affirm that ease of use generates a better perception of the usability of specific systems (Kuo & Yen, 2009).

With the previous hypothesis as the starting point, it is necessary to use methods that will not add costs to the student. Moreover, with a focus on architectural visualization, it is necessary to highlight the need to work with free software and with the most compatible formats and programs. Reaching this point, it should be noted that with the increasing number of applications, viewers, and systems that facilitate digital design, it is difficult to find one general solution among different professional sectors (Khiati, 2011). This working ambiguity is easily observed depending on the geographic area, with different preferred programs depending on the country and region and even according to the university or labor task within the same geographic area.

In the Catalan architectural educational framework, the products developed by Autodesk (San Rafael, CA, USA), a software leader related to CAD and BIM technologies that has free licenses for three years of the best known and most commonly used software in drawing and modeling in 2D and 3D, including AutoCad®, 3DMax®, Maya® and Revit®, are the foundations of architectural work today. This type of multi-format work platform allows for the connection between diverse architectural and building design steps, specifically in the educational framework, allowing for a major work delocalization, as is happening with new devices and operative systems that work and upload content directly to the cloud. The proposed solution by Autodesk® is AutoCAD®WS, a soft-

ware program that works directly in the cloud to store files, directly allowing for the visualization and editing of any type of fixed or mobile support through environmental interfaces.

With regard to the visualization framework, the working systems and available programs for any format or device are innumerable. However, attention should be focused on the most common formats because of their frequent use and standardization (at least in the project study framework, where the authors have 40 years of architecture teaching experience in the Catalan framework) and evaluate how they can be adapted to educational projects and free usable solutions. For example, we can affirm in the Catalan sector that the most common format for 2D content publication is the portable document format (PDF) due to free programs, such as Adobe PDF (Adobe Systems Incorporated, San Jose, CA, USA), doPDF (Softland, Cluj-Napoca, Romania), and Cute PDF (Acro Software, Inc., Haymarket, VA, USA), examples that allow printing and professional work with regard to reproduction. In recent years, this format has incorporated the capability to visualize and interact with 3D models (PDF3F format). In this case, however, it is necessary to work with free versions of software programs; however, use of such programs is not possible when generating models because it is necessary to pay for programs, licenses, or converters.

With Autodesk products, 3D model generation is possible directly from programs in DWFX or OBJ formats, but this option is not available in all of their products. Such a format as DWFX, which is owned by Autodesk, allows for visualization and interaction on computer and mobile devices by installing Autodesk Design Review® or AutoCAD WS, which evolved to Autodesk360®. This format allows one to work on all types of models both locally and on the Internet, which is now known as “the cloud.” The DWFX format is the functional equivalent to PDF3D (Gatt, 2012) and provides a free solution, but it is not common to find presentations in the Catalan teaching architecture framework that use this format.

The opposite case is found in Google Sketchup® (Google, Inc., Mountain View, CA, USA), a visualization and presentation tool for all types of 3D models. This solution provides free and student options and professional licenses, allowing common CAD/BIM formats, such as DWG, DXF, OBJ and 3DS, and raster image formats, such as JPG, GIF and BMP, to be imported. This capability of combining raster and vector elements in a simple and usable work environment has led to an increasing flow of use in architectural project presentations, while it is common to run more complex applications, such as 3DMax®, Revit®, or ArchiCAD® (Autodesk), when applying texture exercises for pictorial and realistic redirection. Another advantage of this platform is its capability of exporting compatible formats for reference architecture (RA) system visualization, which is a basic aspect of the present study.

### 3. Method

#### 3.1. Participants and design

The project was modeled by the CAD/BIM Group of the Architecture Department of La Salle, Ramon Llull University. The study was performed during the 2011–2012 academic year with students in their third year of an Architecture and Building Engineering degree. The experimental framework was completed in the course “Representation Systems II,” a nine-ECTS-credit course that is taught annually. A total of 57 students participated in the study (29 females and 28 males, mean age = 19.45 years,  $SD = 3.05$ ). All students previously took drawing, design, and 2D and 3D modeling courses (a total of 18 ECTS credits over the course of three semesters).

We worked with two groups of students. The first group (G1) had nine students from the Tarragon Campus, still this group in

which initially was designed the experience and the methodology to be followed (Fonseca, Martí, Navarro, Redondo, & Sánchez, 2012). The second group had 36 students from the Barcelona Campus following the same methodology (Currently the Architecture degree of La Salle is performed in the cities of Barcelona and Tarragona). This second group was divided into two subgroups: those who took the course for the first time (G2 = 36), and those who were repeating the course (G3 = 12). For this latter group, when they took the course the first time, the course used a traditional teaching system through printed layouts for both 2D and 3D information, so this group will provide a subjective and concrete comparison of the two methods subjectively. While the G1 and G3 groups had a single teacher, the G2 group was taught by three instructors, so the average number of students per teacher was similar in all cases (initial guidelines are carried out jointly in the group G2, while for the practical realization are divided into small groups tutored by a teacher).

To evaluate the principal objectives of the study, the usability and degree of difficulty in the use of AR technology on mobile devices for education proposes and an assessment of the student's academic performance improvement, the experiment was performed in three stages. Student education consisted of specifically documenting the technology and project, practical performance of the diverse elements that compose the practice, and a methodology usability evaluation and degree of satisfaction. In the first stage, as shown in the methodological framework in Fig. 1, an initial test was completed to evaluate the student technological profile as well as his/her degree of knowledge and expectations of the proposed technology. From this information and the final test, we were able to measure whether the initial expectation was correct and the main problems of the method, the degree of satisfaction once the student is trained on a new technology and the weaknesses of the experiment to improve the method in future interactions.

In the test design process, to model the responses of implementing new technologies in university teaching resources, there are different models based on the user profile, which focuses on the efficiency and effectiveness of the course and on the level of satisfaction/usability and student preference (Martín-Gutiérrez, 2010; Navarro et al., 2012; Stanney, Mollaghasemi, Reeves, Breaux, & Graeber, 2003). Our case was based on ISO 9241-11, which provides several usability guidelines. Effectiveness (E1) was defined as the user's ability to complete tasks during the course in relation to "accuracy and integrity." Efficiency (E2) was defined as the assigned resources; the students were asked questions related to

the expenditure of time and effort for solving the proposed exercise. Satisfaction (S1) was defined as the subjective reactions of users about the course.

Our tests were designed with two main objectives: to obtain the technological profile of the student in terms of his/her use and habits surrounding mobile and Internet technologies and to obtain an overall assessment of the work. To assess the academic level achieved after implementing the proposed project, we compared the results of this course to those from the previous academic year, in which a traditional methodology was used in the 2D and 3D design phases.

To design the pre-test, or technological profile test, and the post-test, or usage/satisfaction test, a structured test was used with the Intranet Moodle system of the university. All of the questions were scored on a five-point Likert scale (1 = never or strongly disagree, 5 = always or strongly agree). The model used was based on prior recommendations from Martín-Gutiérrez (2010) and was previously used in other teaching experiments (Redondo, Fonseca, Sánchez & Navarro, 2012).

### 3.2. Materials and procedure

The projects chosen for the experiment were preselected by the academic coordinators and the university studies board of directors. The projects are generally local projects that allow for a better approach and knowledge of each case by the student. The Tarragona group worked in a common theme that required the students to investigate Mies van der Rohe projects to obtain the required information prior to the work. In the Barcelona group, the projects were public buildings or projects designed by architects that are part of the university professorship.

In the 2011–2012 academic course, the projects were as follows: the Tarragona campus group had "Las casas no construidas de Mies van der Rohe" (unbuilt Mies van der Rohe houses), and the Barcelona groups had "Casa B-10" (1996–2001) by the architect Jaume Bach and "Casa A-M" (1999–2001) by the architect Elena Mateu. The chosen projects present diverse information that is available in books or present in monographs in the university library, with additional information from online sources, which allows the realization of all type of exercises proposed.

This exercise consisted of making an exposition to represent a group of the developed project layouts and had to include the graphic content. The documents and information had to be made available to the exposition visitor through 2D codes and AR techniques on mobile devices. Another objective of this exercise was

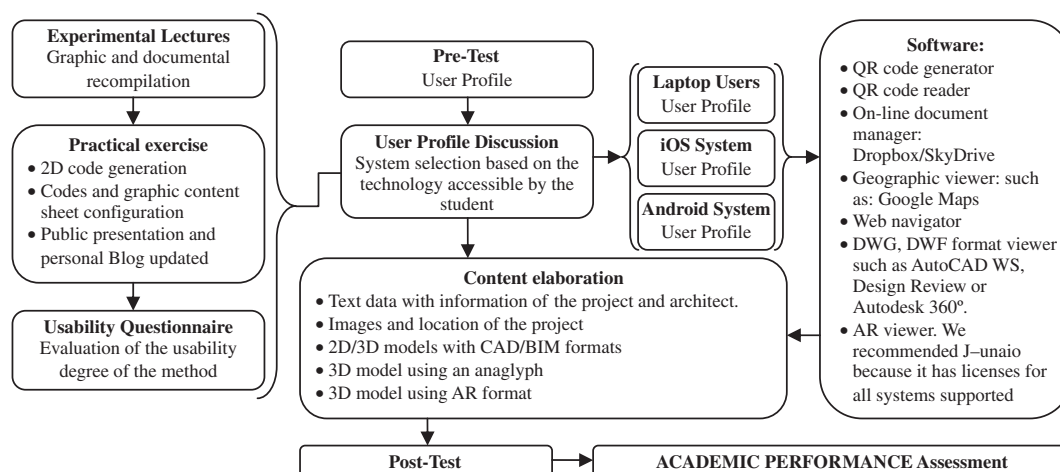


Fig. 1. General scheme of the methodological process.



to provide students with innovative presentation strategies for projects conducted in other subjects in the architecture grade.

The new visualization techniques with mobile devices require an adequate verification of all processes and documentation so that the work methodology can adapt in real time during each class session. The students received theoretical information in 2-h sessions to prepare the subsequent practical exercises. The exercise included a final practical exercise. The course was completed in six sessions, during which all theoretical and practical information was given. The students could consult and provide results comparing their progress with the other students of the class during the elaboration of the exercises. The same results were demonstrated in blogs that students produced at the end of each session, which made it possible to share experiences with all students and with the teacher.

Format and layout orders were established to include text, images, and graphs to represent the course exercises. The final work consisted of a set of six images with dimensions of  $20 \times 20$  cm at a 150-ppp resolution and in a JPG file format. The students composed images in an editor application, such as Adobe Photoshop. One mandatory element that had to be included in every layout is the quick response (QR) code, which allows for virtual access to the rest of the content. These images were printed in color over a rigid support, with an example of a cube that contained six images on its faces for observation.

The projects were classified into different types: text documentation of the project and the architect, emplacement images, other architectural buildings, and project images of the same architect, 2D and 3D graphics of the project in CAD and BIM formats, stereoscopic images of the project, and 3D models in the RA format. To provide information using QR codes, applications capable of generating and reading those codes were used (these applications were freely chosen by the students among the large number of freely available applications on the Internet). Students also had to use other content management applications to share and publish each information delivery and format; the applications were chosen freely, with Dropbox and SkyDrive as the preferred applications. Finally, the documents were visualized using appropriate applications for each content type: Google Maps for geographic references, Internet Navigator for web references, YouTube for videos, AutoCAD WS for DWG contents, and Junaio for AR content, always beginning with free versions or student versions with no economic impact on the student.

To develop the project, two main phases were established. The first was "Experimental Lectures," where graphic information and project documents were collected by the students. In the second phase, called "Practice Exercise," the students made 2D codes, and the last prints were configured with all content. The final results were presented through public exposition and personal blog posts. In the next figure we can see an example of the type of exercise requested.

### 3.2.1. Experimental lectures

This section was completed in the initial course sessions and consisted of classifying the necessary documents for each duty using the information obtained by students in the assigned projects. In addition, the students had to locate the Internet links that they used to create QR codes. This process was planned with the purpose of evaluating the individual competencies and ability to work in a group in association with investigation and work planning skills.

Once the information was found and classified, it had to be organized in a public Internet site. This information, which was created by the students, is one aspect that differentiates the current project methodology from prior methodologies in which all information was provided previously. Students, as mentioned previ-

ously, generally managed Dropbox and SkyDrive applications documentation because these applications provide access to all content in different formats to the public or with approved consent.

The obtained data were used collaboratively, which means that all participants could access the content. For the AR application, several types of documents have been published to describe the methodology to be followed depending on the chosen application. This process is dependent on the many existing RA applications on the market that use different methods, which are often not compatible with the device operative system used in the visualization phase. For example, in the case of Junaio, an application with solutions for both Android and iOS, the documentation had to detail the 3D model creation process of a user-only channel in the free application mode. The process went through the Metaio Creator installation, an application that allows the limited inclusion of a 3D model over a brand chosen by the user, generating a QR code that directly links to the model visualization when the chosen brand is scanned with a camera on a mobile device.

### 3.2.2. Practical exercise

The practical exercise was composed of several elements, including a title page with the project name, architect's name, and student's name. The title page must also contain the QR code of the course blog.

Other mandatory elements included the geographic placement of the project with the QR code that links to its location in Google Maps, an architect presentation with a brief text and a representative image of the project (including the QR code with the link to a web page with complementary information about the architect), presentation of the project with an outside image (including the QR code with a link to a web page or related YouTube videos), graphic documentation of the project in the CAD-BIM format (including the QR code with a link to the documentation in its original format on the Internet, stored in a public Dropbox or SkyDrive folder), presentation with pictures of the projects with an anaglyph of the building (including the QR code with a link to the original images in JPG format, stored in the same folder), presentation of a 3D model for AR visualization (in this layout, a QR code must appear that contains a direct link to the AR application and must also show an image that the application will recognize to display the object on a mobile device).

As mentioned previously, the students designed their expositions both physically (in a space at the university) and virtually (through publication on personal blogs). For the physical exposition, the minimum dimensions were  $20 \times 20$  cm prints on photographic paper for the different required prints and proof that all codes and marks were accessible and worked with no problems, with the option of actualizing or downloading any type of required application in each case. In this manner, any visitor to the exposition had to have a mobile device with the required applications if he/she wanted to access the virtual content; otherwise, he/she would have sufficient information or instruction to gain access to the content (see Fig. 2).

The final evaluation of the student began with an average grade. The grade was weighted, with a 50% of the grade composed of a theory exam, where the student must accomplish diverse tasks with the informatics applications used during the course. The other 50% of the practical grade was based on the experience described in the present study. The practical grade consisted of the student's capacity to work in a group, investigate and select useful information, design capability, and ability to use diverse informatics equipment, such as specific applications for working with digital project elements related to the architecture and building world in 2D and 3D.

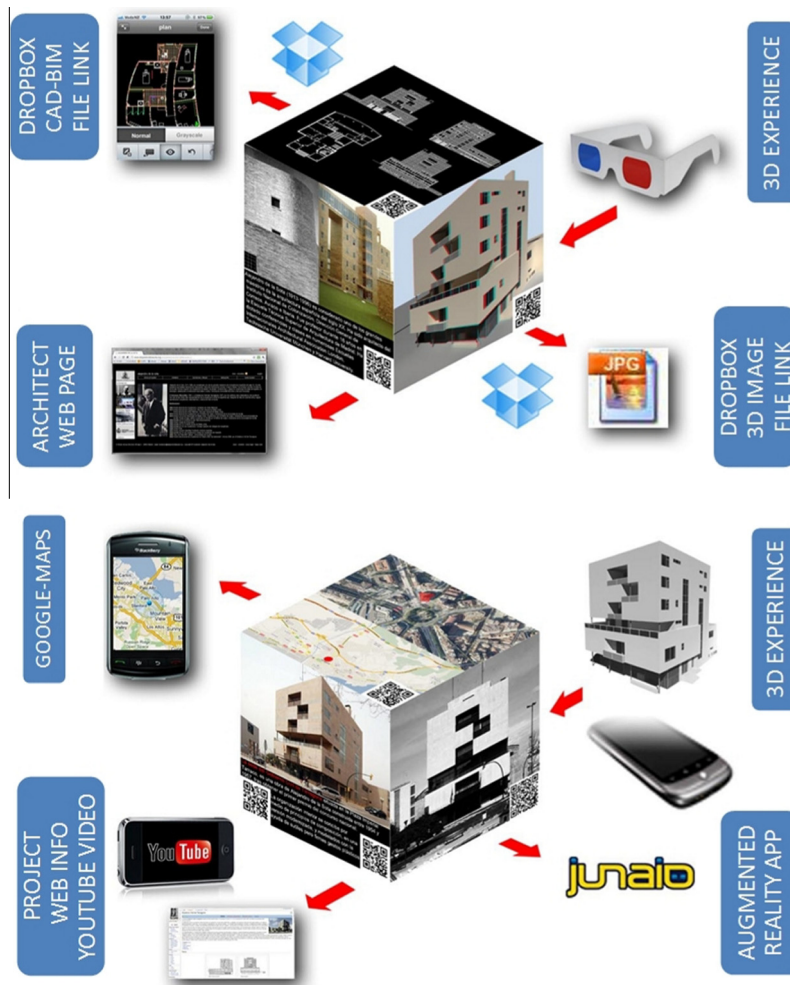


Fig. 2. Example of final practice with the content requested.

## 4. Results

### 4.1. User profile and motivation

At the beginning of the course (which was offered in the first half of the 2011–2012 academic year, September–February), the students were asked to estimate their degree of knowledge, usability, and interest in technologies generally and specifically in the use of informatics devices and mobile technology, the Internet, and social networks. In addition, questions were formulated to obtain the degree of knowledge and expectations of using AR prior to the experiment. The basis of this form is found in previous studies that suggest that higher interaction, usage, or interest levels produce better learning effects (Jung, Choi, Lim, & Leem, 2002; Kettanurak, Ramamurthy, & Haseman, 2001; Sun & Hsu, 2013; Swan, 2001). Additionally, demographic questions were asked, including age, gender, and grade.

The User Profile Test (Redondo, Fonseca, Sánchez, & Navarro, 2012) provided a first approach to the main interests and the student's working style. We descriptively highlighted the following items: all students (100%) connect online at home and at the university, mainly using laptops and mobile devices. The connection types used are Wi-Fi (90.8%) and asymmetric digital subscriber line (ADSL) (75.3%). Only 25.9% of the students work with 3G Internet connections with mobile devices. The most commonly used services are mainly e-mail (100%), browsers and download services (75.6%), and university queries related to architecture (100%). The use of chat rooms, blogs, news, or queries is less frequent (over

25%). A total of 81% of the students have a smartphone (17.5% have a simple mobile phone with no multimedia applications), and these students are more accustomed to working on portable laptops (97.3%) than on desktop computers (64.8%). Only 25% of students have a tablet device.

We detected differences in the behaviors of male and female students regarding the use of smartphones: these devices are more commonly used by females (91.2% of females vs. 70.2% of males), and its use is centered in leisure time and social applications (92.3% of females vs. 67.4% of males). The relative frequency of personal computer and laptop use is similar between males and females, and these devices are most commonly used for education (90.5%), leisure time (92.1%), social networking (89.7%), and other digital applications (86.3%).

Table 1 contains the principal statistics obtained from the most directly related study questions. In general, the students are heavy technology consumers, both in usage, as shown in the previous data and in the daily time usage, and in interest. Practically, combining the use of computers (Mean ( $M$ ) = 3.61 h,  $SD$  = 1.12) and mobile devices ( $M$  = 0.97 h,  $SD$  = 0.72), students use these devices nearly 5 h per day. More than half of the time is spent on Internet applications ( $M$  = 1.78 h,  $SD$  = 0.34) and social networks ( $M$  = 0.70 h,  $SD$  = 0.62); the overall model is a work-based model, but study or leisure is highly valued, with increased satisfaction values ( $M$  = 4.52 h,  $SD$  = 0.65).

However, studying the initial data about the degree of knowledge, interest, and usability that the student perceives in the incorporation of AR into architectural teaching, it is perceived primarily

**Table 1**  
Descriptive statistics for main measures of student profile test.

User profile test	Mean	SD
<i>New technologies</i>		
General interest in computers and technology advances	3.93	0.71
Time spent using computer/laptop per day	3.61	1.12
Time online using Internet services per day	1.78	0.34
Time spent using mobile services per day	0.97	0.72
Time online using Social Networks per day	0.70	0.62
Level of satisfaction using online services	4.52	0.65
<i>Augmented Reality</i>		
Level of knowledge about the technology	3.22	1.55
Level perceived of useful related with Architecture degree	3.50	0.98
Predictable level of improvement using AR in presentations	3.83	1.11
Predictable level of difficulty using this technology	2.91	0.71

as a complex tool ( $M = 3.22, SD = 1.55$ ), and the students lack clear forecasts of how can it affect, help, or improve the visualization and presentation of architectural projects. We obtained average levels that were lower than the mean of four, the threshold considered as a positive prediction ( $M = 3.50, SD = 0.98$  and  $M = 3.83, SD = 1.11$ ).

Pre-test mean scores are similar in all groups, and to estimate the probability that groups are significantly similar, we used the Students *t*-test (Gosset, 1908), using a null hypothesis ( $H_0$ ) that there are no differences in scores between groups. Statistical significance (two-tailed) is 0.497, which exceeds the threshold of 0.05, which means that there is a very low probability that the groups are different in their skills and previous training (Table 2). The null hypothesis, which states that there are no significant differences between groups, is accepted.

To complete the assessment of the teaching experience before evaluating the previous results, we can conclude that the groups are homogeneous, where the greater difference is found in the use of concrete technologies: one-way between-group analysis of variance (ANOVA) using pre-test scores as the covariant was conducted to compare personal use, and it was found that females

use mobile devices more often than males ( $F = 5.073, p < 0.01$ ) and that females use social networks more often than males ( $F = 4.272, p < 0.05$ ). With respect to the use of devices or technologies related to educational use or in the perspective of AR, there are no statistically significant differences between the different groups or by gender ( $F = 0.279, p = 0.762$ ).

The prior lack of knowledge about the technology used in the experiment generated a medium/high degree of motivation ( $M = 3.75, SD = 0.93$ ), defined as the mean between question 1 of the section “New Technologies,” and questions 2 and 3 of the AR section (Table 1). This indicator and comparison with the results and opinions of the usability of the method are aspects that will be analyzed in the following section. Then, the degree of success was evaluated together with whether the implanted methodology leads to an increase in the student’s educational motivation.

4.2. Tool use, content adaptation, and academic performance

After completion of the experiment, as outlined in the task scheme (Fig. 1), the post-test was completed. The main purpose of this test was to evaluate student assessments of the course content and the support technology (AR in this case).

Through the structured test, based on International Organization of Standardization (ISO) 9241-11, it will be possible to evaluate the feasibility of using AR technology on mobile devices in educational environments while focusing on the usability guidelines of effectiveness (E1), efficiency (E2), and satisfaction (S1). Finally, because the completed basic project scheme is the same in the experimental course as in prior courses and because in this case, the subject has a “subgroup” composed of repeater students ( $G3 = 12$ ), student academic performance improvement could be compared using this method in addition to traditional methods.

4.2.1. Final test results

Table 3 shows the students’ main perceptions, including their evaluation of the course material, the proposed methodology, per-

**Table 2**  
Independent Samples Test.

PRE_TEST	<i>t</i>	<i>df</i>	Sig. (2-tailed)	Mean diff.	Std. error difference
Equal variances assumed	0.669	55	0.497	-0.05997	0.29913

**Table 3**  
One-way ANOVA results.

Variables	G1 ( <i>n</i> = 9)		G2 ( <i>n</i> = 36)		G3 ( <i>n</i> = 12)		ANOVA			
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	<i>F</i> (3,16)	Sig.	$\eta^2$	
<i>Material/contents</i>										
(E1) The material of the lecture has a good presentation	4.01	0.25	4.19	0.50	4.00	1.09	0.427	0.654	0.250	
(E1) The structure of the sessions/exercises are appropriate	4.33	0.51	4.08	0.53	4.16	0.87	0.383	0.683	0.230	
(E1) It is easy to manipulate the exercises proposed	3.66	0.25	3.55	0.53	4.25	0.56	4.347	0.017*	0.502	
(E1) Models scale are suitable to manipulate virtual elements	3.00	1.00	3.33	0.40	3.41	0.62	0.946	0.394	0.535	
(E2) The number of exercises are related with time proposed	2.44	0.27	2.69	0.50	2.33	0.78	1.293	0.282	0.528	
(E2) It have been possible to solve the exercises presented	4.01	0.51	3.44	0.53	3.58	0.44	2.164	0.124	0.514	
(S1) Theoric classes are sufficient to know how to proceed	3.77	0.19	3.33	0.51	3.33	0.60	1.541	0.223	0.485	
<i>Application of AR technology</i>										
(E2) The application of AR has been stable (no crashes)	3.22	0.69	2.97	0.42	3.16	0.69	0.620	0.541	0.522	
(E2) Familiarity with the gestures and manipulate virtual objects has been easy	2.56	0.52	2.80	0.50	2.58	0.81	0.641	0.530	0.365	
(E2) No delay in the visualization/manipulation of models	3.89	0.36	3.77	1.09	3.67	0.78	0.139	0.870	0.128	
(S1) Level of definition of 3D virtual models	3.44	0.27	3.38	0.70	2.58	0.26	5.765	0.005*	0.549	
(S1) Overall AR rating about useful to improve presentations of Architectural projects	3.22	0.19	3.02	0.31	2.41	0.44	6.616	0.002*	0.323	
(S1) Rating about the experiment: viewing Architectural models with AR applications	3.56	0.27	3.25	0.70	2.75	1.11	2.516	0.090	0.726	
(S1) Rating about how AR work with 3D complex models	2.34	1.25	2.46	0.65	2.08	0.62	1.417	0.251	0.737	
(S1) Rating about usability of AR syst. and methodologies	3.56	0.28	3.36	0.52	3.00	0.54	1.819	0.171	0.491	

\* Mean difference is significant at the 0.05 level.

ceived usefulness, and level of satisfaction. We conducted a one-way ANOVA between the three student groups identified in Section 3.1: the Tarragona group (G1 = 9), the Barcelona non-repeater group (G2 = 36), and the Barcelona repeater group (G3 = 12).

With this analysis, the perceptions could be evaluated based on the three proposed usability guides.

The results indicated significant differences among the groups for the degree of difficulty for the proposed exercises ( $F = 4.347$ ,  $p < 0.05$ ), the perceived level of definition using 3D AR models ( $F = 5.765$ ,  $p < 0.05$ ), and the overall perceived usefulness of AR for improving architectural presentations ( $F = 6.616$ ,  $p < 0.05$ ). In all cases in which statistically differentiated behaviors were detected, the average that generated said answer was given by the repeater subgroup (G3), which opens an avenue to investigate the existing relationship in the repeater's educational condition with the effected values in said indexes.

In the first observed difference related to the ease of environmental manipulation, while the students taking the subject for the first time found a medium level of difficulty (G1:  $M = 3.66$ ,  $SD = 0.25$  and G2:  $M = 3.55$ ,  $SD = 0.53$ ), the repeater students utilized the proposed method in this exercise more easily ( $M = 4.25$ ,  $SD = 0.56$ ), making personal and subjective comparisons with their previous experiences with the traditional methods of the previous course.

Evaluating the other significantly differentiated values, clear prior conditioning was present: the previous realization from the repeater students of subjects related with architectural projects and construction techniques of the third degree course. In those subjects, which were not studied previously by G1 and G2 students; it is emphasized in the architectural project presentation methodologies, both at constructive and executive levels that special attention must be paid to the detailed visualization of materials and textures. Likewise, and from this third course, the projects of study change from detached houses to large public projects, which increase the relevance of visualization in the space and work conception with 3D complex models.

Based on the prior experience of the G3 group, the significantly lower values of the level of definition of 3D virtual models are justified (G3:  $M = 2.58$ ,  $SD = 0.26$ ), as they are compared with students who did not need to debug the visualization of complex projects (G1:  $M = 3.44$ ,  $SD = 0.27$  and G2:  $M = 3.38$ ,  $SD = 0.70$ ). Similarly, for the overall perception rating of AR regarding its usefulness for improving architectural project presentations, the G3 group, which has more experience, "fails" the AR technology (G3:  $M = 2.41$ ,  $SD = 0.44$ ), in contrast to the other groups (G1:  $M = 3.22$ ,  $SD = 0.19$  and G2:  $M = 3.02$ ,  $SD = 0.31$ ), partly because the first group knows the needs and requirements that are more commonly used in the project subjects.

This clear doubt about the adequacy of AR for complex project realization is compounded by the low reviews obtained for the obtained perception of the visualization of complex models, not only architectural projects. All students with some experience in project and construction subjects in the first two degree courses agreed to fail to the technology in this category (G1:  $M = 2.34$ ,  $SD = 1.25$ , G2:  $M = 2.46$ ,  $SD = 0.65$ , and G3:  $M = 2.08$ ,  $SD = 0.62$ ). This result is a possible initial point for future studies and improvements to increase the reviews and utility perception of AR.

#### 4.2.2. Evaluation of usability guidelines

As mentioned previously, we evaluated the user assessments using questionnaires based on ISO 9241-11. The overall assessment of the experiment was approximately 3.5, which is similar to the results obtained in previous studies (Redondo, Navarro, Sánchez & Fonseca, 2012), confirming the feasibility of using this technology in educational environments.

The average responses related to effectiveness (E1) and efficiency (E2) are very similar for all groups and are not statistically significantly different, as shown in Table 4. The satisfaction levels ("S1" in Table 3) are close to the level of significance ( $F = 3.68$ ,  $p = 0.070$ ). The minimum correlation between variables is 0.854, indicating a strong relationship between effectiveness, efficiency, and satisfaction in using this technology.

#### 4.2.3. Academic performance

A final scale that was considered in the study to provide clear information about the usefulness of the proposed methodology is the curriculum evaluation by the students. Table 5 lists a summary of the grades obtained during the academic year (with the AR methodology) for all groups and the academic results for all groups of the previous academic year (2010–2011), when traditional methodologies were used.

The academic results of the 2011–2012 year show the averages of the group in Tarragona (G1'), which are 100% different from the experimental group due to the fact that there were no repeaters in this group, the students from the Barcelona group who passed the last course (G2') and are therefore also different from the G2 experimental group, and the academic results of the G3 repeater group, who took the same course with both methods. The group G2' includes the results of a group of 10 repeater students who took the course for the second time; their results are not statistically different from the students who passed the course the first time.

Comparing the practice Section 4, which is the basis of our experiment and which used a different methodology compared to previous years, we can confirm a statistically significant increase in the practice degree of all groups of the 2011–2012 academic year compared to the previous year. We found an increase in the practical grade, which has a mean of  $M = 5.62$  ( $SD = 0.03$ ) in the previous year compared to the new mean of  $M = 6.54$  ( $SD = 0.18$ ). The differences are significant ( $F(7.7) = 11.56$ ,  $p = 0.027$ ), indicating that the proposed method helps to improve student performance. In addition to the improvement in the practice grade, we also found a significant increase in the spatial skills of the students, as evaluated in the theoretical exams. The students had a previous mean of  $M = 4.94$  ( $SD = 0.45$ ), which increased to  $M = 6.04$  ( $SD = 0.27$ ), a difference that is statistically significant ( $F(7.70) = 7.42$ ,  $p = 0.052$ ).

## 5. Discussion

The basic purposes of this study were to determine whether the use of familiar technology, such as mobile devices, social media, and new interactive and collaborative methods, to visualize architectural models improve the motivation and academic performance of students. The results indicate that AR is a good system to visualize simple models but that it is less able to manage projects with high levels of detail and volume. The experience was welcomed by the students, who appreciated using the new methodology as applied to architecture education and appreciated the technology even more if these types of exercises help to improve their academic performance.

**Table 4**  
Usability responses.

Variables	G1 (n = 9)		G2 (n = 36)		G3 (n = 12)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Effectiveness (E1)	3.75	0.32	3.78	0.17	3.95	0.14
Efficiency (E2)	3.22	0.52	3.13	0.20	3.06	0.35
Satisfaction (S1)	3.31	0.26	3.13	0.12	2.69	0.19



**Table 5**  
Academic curriculum.

VARIABLES	2011–2012						2010–2011					
	G1 (n = 9)		G2 (n = 36)		G3 (n = 12)		G1' (n = 12)		G2' (n = 52)		G3 (n = 12)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Practical grade (PG)	6.12	1.21	6.52	1.47	6.98	1.70	5.55	0.56	5.83	0.69	5.48	1.87
Theory grade (TG)	5.89	1.01	5.94	0.98	5.79	1.12	5.03	0.89	5.25	0.53	2.52	0.36
Final grade (50%PG + 50%TG)	6.00	1.11	5.73	1.22	6.38	1.41	5.29	0.72	5.54	0.61	4.00	1.15

**Table 6**  
AR main method variables.

AR-variables	PRE-test levels perceived		POST-test real levels			
	Mean		Global mean	Mean (G1)	Mean (G2)	Mean (G3)
Useful	3.50		2.88	3.22	3.02	2.41
Improv. Arq. project	3.83		3.18	3.56	3.25	2.75
Usability	2.91		3.30	3.56	3.36	3.00

In the discussion of the proposed method, we evaluate the incorporation of AR in architecture education based on three main variables: usefulness, level of improvement of project presentations, and difficulty of use. For this purpose, we compare the means of those variables in the pre-test (where all data are related to student perception with no knowledge of the technology) and the post-test (where the student had worked with AR and evaluates its performance) (Table 6).

Our findings show positive aspects: students evaluate AR as a technology that is easier to use ( $M = 3.30$ ) than was expected a priori ( $M = 2.91$ ), which improved student participation and motivation as observed in the different academic sessions and led to an improvement in students' academic performance (Table 5). However, the level of perceived utility ( $M = 2.88$ ) and the results related to whether AR is a good system for architectural visualization ( $M = 3.18$ ) were unexpected ( $M = 3.50$  and  $M = 3.83$ , respectively) or cannot be compared with the resulting quality of work in other 3D formats, both digital (e.g., DWFX interactive models) and physical (e.g., mockup). The preliminary experiments that were conducted by the students showed a good fit to simple models, but the results were not the same when the model was more complex, either in structure or volume.

However, the previous statements are based on averages, which do not have statistically significant differences ( $p > 0.5$ ). We can only confirm that there are significant values when considering students who have repeated the course. In this case, the perception of the main variables of the study, the usefulness and improvements of AR for architectural project presentations, are decreased, with a high level of significance ( $p = 0.044$ ). This value confirms the previously stated hypothesis that AR technology is not an optimal fit to display specific details or complex architectural models based on the previous experiences of course repeaters with this type of project.

Other results that were extracted from student–teacher interactions and final interviews about the experience show us some problems that will have to be improved in future experiments to increase the level of satisfaction and adaptation of architectural content to AR technology. We find problems related to the connection between technologies and formats. For example, AutoCAD does not export directly to the OBJ format (which is the necessary format for uploading the 3D model into the Junaio system), and some colors and materials that are used in AutoCAD, 3DMax, or Sketchup are not imported correctly into Junaio. Other problems are directly related to the size and system of visualization: 3D models shake excessively when displayed on mobile device screens, and the model size is limited by the method of scaling

within Junaio and the screen size (those situations are the main problems for observing small objects and architectural details).

However, the results of the students' pre- and post-tests have demonstrated that by combining an attractive technology and user-machine interaction that involves AR, students feel more motivated, have increased graphic competencies and spatial skills in shorter learning periods, and have strongly improved academic performance.

## 6. Conclusion

The results of the present study were in line with our assumptions that the use of mobile devices in the classroom, motivation, and academic achievement are highly correlated. However, the difficulty of generating content and the visualization of optimal models and details are complex factors that suggest difficulty in implementing this technology in other subjects related to architectural education.

The level of interaction of the students in all phases of the proposed methodology produced a high level of interest in the subject with increased monitoring, new interest in visualization techniques, such as AR, and higher learner perceptions. Working with a collaborative interface, interactive discussions of all projects, and the capacity to generate physical and digital expositions are activities that have generated an active student, with significant improvements in spatial, research, and interaction skills. One of the highlights of the experience has been the change in perspective that was generated once the student was aware of how their work was perceived publicly. With the publication of their project advances in personal blogs and the mutual exchange of opinions with peers and faculty, the student no longer considers the project as a simple, isolated practice exercise but instead considers it a project with an immediate impact on the Internet and a continuous improvement in presentation quality. One of the actions of the experience that generated a better response was when the students needed to search for information related to their projects online. Preliminary results were links to their personal blogs and those of their colleagues. These blogs, as they have been updated and enriched with many types of digital content, have gained public status, resulting in an increased level of awareness and student motivation about the importance of maintaining information with an appropriate minimum level of quality.

The overall assessments of efficiency, effectiveness, and satisfaction were all approximately 3.5; thus, we can confirm that students felt satisfied and motivated when using this new methodology. In addition, the representative exercises and mate-



rial presentation appear to be crucial to the success of this type of teaching experience. However, variables related to the ability to solve the exercises independently did not correlate significantly with the final course assessment.

With regard to the second research question, the results demonstrated how AR technology, through student motivation, could help to improve students' academic performance. All groups achieved gains in performance results, particularly those students who were repeating the subject. All of the students were more engaged and participated in the course activities, particularly in the task of interaction with 3D virtual content, thus maximizing the learning process.

This study has several limitations and provides a number of variables to improve in future studies, as well as some research suggestions. First, it is necessary to compare similar experiences between different courses to ensure that a student's previous experience in architectural project subjects is relevant to his/her understanding of how to use the AR technology. It will be necessary to design models and exercises with different levels of difficulty based on the needs defined by projects in different courses. Second, it is necessary to improve the evaluation of students' perceptions of motivation and satisfaction about using mobile devices, social networks, and advanced tools in visualizations. It will be necessary to design tests and structured interviews to collect more information about the experiences throughout the course, not only in the first or final class.

Finally, we can confirm that AR technology on mobile phones in architecture and building construction education offers an opportunity to visualize different stages of a constructive process "in situ", helping to improve the understanding of the process. This fact allows for the verification and comparison of different scenarios and virtual proposals prior to real construction. In addition, this technology could replace real interventions. To achieve this goal, it is important to study the ability to view different models with the same marker to show different layers, models, textures, and illuminations. Furthermore, it will be necessary to establish systems that allow for fluid exchanges between applications and the avoidance of problems involving formats, versions, or loss of information, as occurred with colors and materials in the present study. While the framework of CAD/BIM has standardized formats, such as DWG, DXF, or 3DS, these formats are not adequately adapted to existing AR applications. In this regard, the work being performed within the "AR Standards," a collaborative initiative that works to solve the current problems of this technology and adapt to all types of services and needs will be critical (more information is available at <http://www.perey.com/ARStandards/>). As standardized exchange formats are adopted, the display of complex 3D models will be more accurate, solving one of the current critical problems of this type of technology.

Finally, indicate that this educational research project falls under the Interest Group for Logistics and Teaching in Architecture (GILDA), an inter-university group centered in the architectural framework assigned to the ICE (Institute of Education Sciences at the Polytechnic University of Catalonia – UPC), specialized in the field of teaching technology disciplines. The authors represent teachers of Visual Communication Architectural Graphic Expression Representation (EGAI/II) together with the "Informatics Tools" subjects of architecture at the Universidad Ramon Llull (URL) and usability experts in educational research. This project was made possible by the Fundamental Research Project Not Oriented of the VI National Plan for Scientific Research, Development and Technological Innovation 2008–2011, Government of Spain, N° EDU-2012-37247/EDUC, titled: "E-learning 3.0 in the teaching of architecture. Case studies of educational research for the foreseeable future".

## References

- Al-Qawasmí, J. (2005). Digital media in architectural design education: Reflections on the e-studio pedagogy. *Art, Design & Communication in Higher Education*, 4(3), 205–222.
- Alvarez, C., Alarcon, R., & Nussbaum, M. (2011). Implementing collaborative learning activities in the classroom supported by one-to-one mobile computing: A design-based process. *Journal of Systems and Software*, 84, 1961–1976.
- Ardito, C., Lanzilotti, R., Pederson, T., & Piccinno, A. (2008). Experiencing the past through the Senses: An M-learning game at archaeological parks. *IEEE Multimedia*, vol. October–December, 76–81.
- Área, M., San Nicolás, M. B., & Fariña, E. (2010). Buenas prácticas de aulas virtuales en la docencia universitaria semipresencial. *Revista de Teoría de la Educación Sociedad de la Información (TESI)*, 11(3), 7–31.
- Billinghurst, M., Kato, H., & Poupyrev, I. (2011). The MagicBook – Moving seamlessly between reality and virtuality. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 21(3), 6–8.
- Boeykens, S., Santana-Quintero, M., & Neuckermans, H. (2008). Improving Architectural Design Analysis using 3D Modeling and Visualization techniques. In M. Ioannides, A. Addison, A. Georgopoulos & L. Kalisperis (Eds.), *Digital heritage: Proceedings of the 14th international conference on virtual systems and multimedia pages* (pp. 67–73). Limassol, Cyprus.
- Bouchlaghem, D., Shang, H., Whyte, J., & Ganah, A. (2005). Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC). *International Journal of Automation in Construction*, 14, 287–295.
- Brederode, B., Markopoulos, P., Gielen, M., Vermeeren, A., & de Ridder, H. (2005). pOwerball: The design of a novel mixed-reality game for children with mixed abilities. In *Proceedings of the 2005 conference on Interaction design and children – IDC '05* (pp. 32–39). ACM Press New York, New York, USA.
- Broll, W., Lindt, I., Ohlenburg, J., Wittkämper, M., Yuan, C., Novotny, T., et al. (2004). ARTHUR: A collaborative augmented environment for architectural design and urban planning. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 1(1), 102–109.
- Callaway, E., (2009). iTunes university' better than the real thing. Available on line: <http://www.newscientist.com/article/dn16624-itunes-university-better-than-the-real-thing.html> [Consulted 15/02/2012].
- Champeny, L., Borgman, C. L., Leazer, G. H., Gilliland-Swetland, A. J., Millwood, K. A., D'Avolio, L., Finley, J. R., Smart, L. J., Mautone, P. D., Mayer, R. E., & Johnson, R. A. (2004). Developing a digital learning environment: An evaluation of design and implementation processes. In *Proceedings of the 4th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries (JCDL '04)* (pp. 37–46). ACM New York, NY, USA. doi: 10.1145/996350.996361.
- Chen, R., & Wang, X. (2008). An empirical study on tangible augmented reality learning space for design skill transfer. *Tsinghua Science & Technology*, 13, 13–18.
- Chickering, A. W., & Gamson, Z. F. (1987). Seven principles for good practice in undergraduate education. *The American Association for Higher Education Bulletin* (March).
- Chinnery, A. (2006). Cold case: Reopening the file on tolerance in teaching and learning across difference. In K. Howe (Ed.), *Philosophy of education 2005* (pp. 200–208).
- Corlett, D., Sharples, M., Chan, T., & Bull, S. (2005). A mobile learning organiser for university students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 21, 162–170.
- Dede, C. (2000). Emerging influences of Information Technology on school curriculum. *Journal of Curriculum Studies*, 32(2), 282–303.
- DiSerio, Á., Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2012). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & Education*, 1–11.
- Doabelis, M., Brinkis, J. (2006). Information Technology in Computer aided architectural design. In *12th international conference on geometry and graphics* (pp. 1–10). Salvador, Brazil.
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2008). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 7–22.
- Epper, R., & Bates, A. W. (2004). Enseñar al profesorado cómo utilizar la tecnología. *Buenas prácticas de instituciones líderes*. Barcelona: Editorial UOC. Colección Educación y Sociedad Red.
- Fonseca, D., Martí, N., Navarro, I., Redondo, E., & Sánchez A. (2012). Uso de la Realidad Aumentada como Plataforma Educativa en la Visualización Arquitectónica. In *XIV Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIIE-12)* (pp. 337–342). La Salle Open University.
- Fonseca, D., Redondo, E., Sánchez, A., Villagrana, S., & Martí, N. (2012). Visualization methods in architecture education using 3D virtual models and Augmented Reality in mobile and social networks. In *3rd world conference on learning, teaching & administration*. Brussels: Belgium: Procedia-Social and Behavioral Sciences.
- Galantay, R., Torpus, J., & Engeli, M. (2004). "Living-room". Interactive, Space-Oriented Augmented Reality. In *Proceedings of the 12th annual ACM international conference on Multimedia '04* (pp. 64–71). New York, York, USA: ACM Press.
- Gantt, P. A. (1998). Maximizing multimedia for training purposes: The Technology Source. <<http://horizon.unc.edu/TS/vision/>>.
- Gatt, I. (2012). *DSD's Newsletter. Data Systems Designers*, 266 <<http://www.dsd.co.il/newsletter/dsd266.pdf>> (October 20).
- Georgina, D. A., & Olson, M. R. (2007). Integration of technology in higher education: A review of faculty self-perceptions. *Internet and Higher Education*, 11, 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iheduc.2007.11.002>.

- Giesbers, B., Rienties, B., Tempelaar, D., & Gijssels, W. (2013). Investigating the relations between motivation, tool use, participation, and performance in an e-learning course using web-videoconferencing. *Computers in Human Behavior*, 29(1), 285–292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2012.09.005>.
- González, T., & Rodríguez, L. (2010). El valor añadido de las buenas prácticas con TIC en los centros educativos. *Revista de Teoría de la Educación Sociedad de la Información (TESI)*, 11(3), 262–282.
- Gosset, W. S. (1908). The Probable error of a mean. *Biometrika*, 6, 1–25.
- Guiliarte Martín-Calero, C. (2008). *Innovación docente: Docencia y TICs*. Valladolid: Universidad de Valladolid, pp. 470.
- Holzinger, A., & Maurer, H. (2005). E-Learning-Modelle für die Hochschule: Ein best practice-Beispiel aus der Bauingenieurwissenschaft. *OCG Journal*, 30(4), 22–23.
- Hu, B.-Y. (2006). Book review: Integrating technology into higher. *Educational Technology & Society*, 9(1), 359–360.
- Jung, I., Choi, S., Lim, C., & Leem, J. (2002). Effects of different types of interaction on learning achievement, satisfaction and participation in web-based instruction. *Innovations in Education and Teaching International*, 39(2), 153–162.
- Kaufmann, H. (2002). Construct3D: An Augmented Reality Application for Mathematics and Geometry Education. In *Proceedings of ACM Multimedia Conference 2002*, pp. 656–657.
- Kettanurak, V., Ramamurthy, K., & Haseman, W. D. (2001). User attitude as a mediator of learning performance improvement in an interactive multimedia environment: An empirical investigation of the degree of interactivity and learning styles. *International Journal of Human – Computer Studies*, 54(4), 541–583.
- Khiati, S. (2011). CAD and 3D visualization software in design education: Is one package enough? *Journal of Engineering & Applied Sciences*, 3(2), 91–100.
- Kreijns, K., Acker, F. V., Vermeulen, M., & Buuren, H. V. (2013). What stimulates teachers to integrate ICT in their pedagogical practices? The use of digital learning materials in education. *Computers in Human Behavior*, 29(1), 217–225. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2012.08.008>.
- Kuo, Y. -F., & Yen, S. -N. (2009). Towards an understanding of the behavioral intention to use 3G mobile valued-added services. *Computers in Human Behavior*, 25(1), 103–110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2008.07.007>.
- Law, N., Pelgrum, W. J., & Plomp, T. (2008). *Pedagogy and ICT use in schools around the world: Findings from the IEA SITES 2006 study*. Hong Kong: Springer.
- Leopold, C., Górska, R. A., & Sorby, S. A. (2001). International experiences in developing the spatial visualization abilities of engineering students. *Journal for Geometry and Graphics*, 5(1), 81–91.
- Lu, Z. (2012). Learning with mobile technologies handheld devices and smart phones: Innovative methods. *IGI-Global*, 1–272. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-4666-0936-5>.
- Lynch, K. (1998). *La Imagen de la ciudad*, Gustavo Gili Diseño Ed. Buenos Aires. pp. 1–228.
- Malawi, A., & Srinivasan, R. (2004). Building performance visualization using augmented reality. In *Proceedings of the fourteenth international conference on computer graphics and vision* (pp. 122–127).
- Martín-Gutiérrez, J. (2010). *Estudio y evaluación de contenidos didácticos en el desarrollo de las habilidades espaciales en el ámbito de la ingeniería*, Tesis doctora. Spain: Universidad Politécnica de Valencia (pp. 690–691).
- Massy, W. F., & Zemsky, R. (1995). Using Information Technology to enhance academic productivity. In *CAUSE conference* <http://www.educase.edu/nlii/keydocs/massy.html>.
- Milgram, P., & Takemura, H. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality–virtuality continuum. Presented at *Telemanipulator and Telepresence Technologies*, 2351, 282–292.
- Milliken, J., & Philip-Barnes, L. (2002). Teaching & technology in higher education: Student perceptions and personal reflections. *Journal of Computers in Education*, 39(3), 223–235.
- Moran, M., Seaman, & Tinti-Kane, H., (2011). Teaching, Learning, and Sharing: How Today's Higher Education Faculty Use Social Media. In *Pearson Learning Solutions* (pp. 1–32). Boston, USA.
- Navarro, I., Fonseca, D., Redondo, E., Sánchez, A., Martí, N., & Simón, D. (2012). Teaching evaluation using augmented reality in architecture: Methodological proposal. In *Information systems and technologies (CISTI), 2012 7th Iberian conference* (pp. 1–6) (20–23 June).
- Norberg-Schulz, Ch. (1971). *Existence, space and architecture*. London: Praeger Publishers. (pp. 1–120).
- Pan, Z., Cheok, A. D., Yang, H., Zhu, J., & Shi, J. (2006). Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers & Graphics*, 30, 20–28.
- Parsons, D. (2012). Refining current practices in mobile and blended learning: New applications. *IGI-Global*, 1–334. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-4666-0053-9>.
- Patrut, B., Patrut, M., & Cmeciu, C. (2013). *Social Media and the New Academic Environment: Pedagogical Challenges*, 1–349. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-4666-2851-9>.
- Piekarski, W., & Thomas, B., (2001), Timmth-Metro: New outdoor techniques for creating city models with an augmented reality wearable computer. In *First international symposium on wearable computers (ISWC '01)* (pp. 31–38).
- Pozzi, C. (2012). The role of computer in the teaching of architectural project. In *International conference on artificial intelligence and soft computing, in lecture notes in information technology* (vol. 12, pp. 414–419). Springer.
- Rafael, F., Pérez, S., & Dueñas, J. (2006). *A web-based tool for managing architectural design decisions*, ACM workshop on SHaring Architectural Knowledge (Shark06). Torino Italy: ACM Press.
- Redondo, E., Navarro, I., Sánchez Riera, A., & Fonseca, D. (2012). Augmented Reality on architectural and building engineering learning processes. Two Study Cases. *UbiCC Journal, Special Issue on Visual Interfaces and User Experience: New approaches*. 1269–1279.
- Redondo, E., Fonseca, D., Sánchez, A., & Navarro, I. (2012a). Augmented reality in architecture degree. New approaches in scene illumination and user evaluation. *Journal of Information Technology and Application in Education (JITAE)*, 1(1), 19–27.
- Roca, J., & Gagné, M. (2008). Understanding e-learning continuance intention in the workplace. A self-determination theory perspective. *Computers in Human Behavior*, 24, 1585–1604. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2007.06.001>.
- Rogers, D. L. (2000). A paradigm shift: Technology integration for higher education in the new millennium. *Educational Technology Review*, 19–33.
- Ruiz, M., & Abella, V. (2011). Creación de un blog educativo como herramienta TIC e instrumento TAC en el ámbito universitario. *Revista de Teoría de la Educación Sociedad de la Información (TESI)*, 12(4), 53–70.
- Sánchez, J. R., & Borro, D. (2007). Automatic Augmented Video Creation for Markerless Environments. In *Poster proceedings of the 2nd international conference on computer vision theory and applications (VISAPP '07)* (pp. 519–522).
- Sánchez, A., Redondo, E., Fonseca, D., & Navarro, I. (2013). Construction processes using mobile augmented reality. A study case in Building Engineering degree. In *World Conference on Information Systems and Technologies (WorldCIST'13)*. Algarve. Portugal (March 27–30).
- Shen, C. X., Liu, R. D., & Wang, D. (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(1), 185–192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2012.08.004>.
- Shin, D. H., & Dunston, P. S. (2008). Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability. *Automation in Construction*, 17(7), 882–894.
- Stanney, K. M., Mollaghasemi, M., Reeves, L., Breaux, R., & Graeber, D. (2003). A.: Usability engineering of virtual environments (VEs): Identifying multiple criteria that drive effective VE system design. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58, 447–481.
- Sun, J., & Hsu, Y. (2013). Effect of interactivity on learner perceptions in Web-based instruction. *Computers in Human Behavior*, 29(1), 171–184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2012.08.002>.
- Swan, K. (2001). Virtual interaction: Design factors affecting student satisfaction and perceived learning in asynchronous online courses. *Distance Education*, 22(2), 306–331.
- Tonn, C., Petzold, F., Bimber, O., Bimber, A., Grundhöfer, A., & Donath, D. (2008). Spatial augmented reality for architecture designing and planning with and within existing buildings. *International Journal of Architectural Computing*, 6(1), 41–58.
- Vechhia, L. D., Da Silva, A., & Pereira, A. (2009). Teaching/learning architectural design based on a virtual learning environment. *International Journal of Architectural Computing*, 7(2), 255–266. <http://dx.doi.org/10.1260/147807709788921976>.
- Wang, X., & Schnabel, M., (2006), *Mixed reality in architecture design & construction*. Springer (pp. 1–273).
- Whyte, J., Bouchlaghem, N., Thorpe, A., & McCaffer, R. (2000). From CAD to virtual reality: Modeling approaches, data exchange and interactive 3D building design tools. *Automation in Construction*, 10, 43–55.
- Yuh-Shyan, C., Tai-Chien, K., & Jang-Ping, S. (2005). Realizing outdoor independent learning with a butterfly-watching mobile learning system. *Journal of Internet Technology*, 6(1), 77–87.

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

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

Gimenez Mateu, Lluís

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

Santana Roma, Galdric

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

Navarro Delgado, Isidro

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

Redondo Dominguez, Ernest

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

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

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

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

### I. INTRODUCCIÓN

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



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

Cambiando de asunto, dentro del marco socioeconómico sometido a la actual crisis, hay un país europeo donde la actividad en el sector de la construcción no ha dejado de crecer. Se trata de Rumanía, uno de los países con el PIB más bajo de la comunidad europea, pero en el cual la Iglesia Ortodoxa (religión mayoritaria con un 87% de la población) está llevando a cabo desde hace años una enorme demostración de poder económico construyendo centenares de iglesias por todo el país. En cifras, la Iglesia Ortodoxa Rumana (BOR – *Biserica Ortodoxă Română*), tiene más de 16.000 iglesias y centros de culto repartidos por su territorio o fuera de él; más de 2.000 de ellas han sido construidas en los últimos 23 años (desde la caída del bloque comunista a finales de los años 80); alrededor de 500 se encuentran anualmente en proceso de restauración o rehabilitación; y actualmente se está llevando a cabo la construcción de la Catedral de la Absolución del Pueblo en Bucarest, un mastodóntico edificio con una altura de 125 m, 3.000 m<sup>2</sup> y un presupuesto de ejecución estimado en 450 millones de euros [5]. Tal actividad constructiva genera miles de puestos de trabajo y gestiona decenas de millones de euros anuales, provenientes tanto de aportaciones económicas del estado como de ayudas voluntarias de millones de feligreses.

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

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

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

## II. CONOCIMIENTOS PREVIOS

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



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

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

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

### III. BASES DE PARTIDA

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

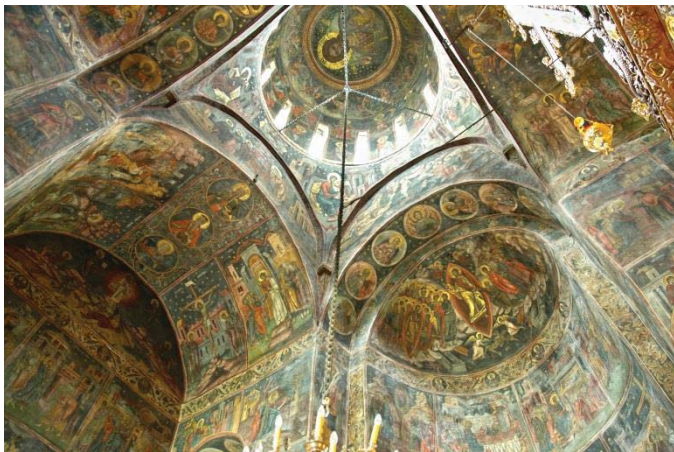


Figura 2. Fotografía con plano contrapicado del interior del *naos* de la Iglesia del Monasterio de *Cozia*, en la provincia de *Vâlcea*, Rumanía. [<http://www.manastireacozia.ro/>]

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

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

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

### IV. FASES

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

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

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



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



## V. FORMALIZACIÓN DIGITAL

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

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

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

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

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

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

## VI. RA COMO PRESENTACIÓN

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

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

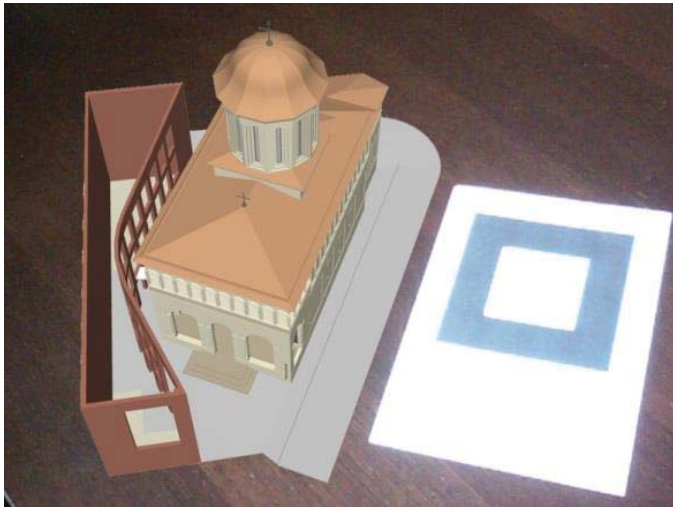


Figura 4. Captura de pantalla de la visualización en RA del edificio con marcador de 20 x 20 cm.

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

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

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



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

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



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

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

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

## VII. VISUALIZACIÓN DINÁMICA

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

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

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

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

## VIII. CONCLUSIONES

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

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

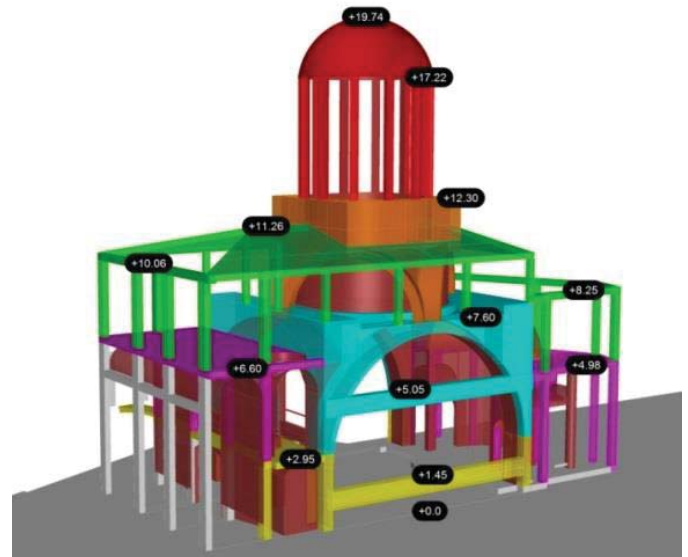


Figura 7. Modelo tridimensional de la estructura de hormigón (sin el sótano) realizado en *Rhinoceros v.4*. Las futuras 7 fases de ejecución corresponden a los 7 diferentes colores.

## IX. TRABAJO FUTURO EN LAS PUBLICACIONES TIC



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

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

#### AGRADECIMIENTOS

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

#### REFERENCIAS

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

- [9] Perey, Christine; Terenzi, Graziano, “AR-Assisted 3D Visualization for Urban Professional Users. ARmedia First White Paper of Inglobe Technologies Srl” (October 2013)
- [10] Rodrigues, Felipe; Etchegaray, Felipe; Medina, Hector; Borda, Adriane, *Desenvolvimento de Aplicativo para Visualização de Patrimônio Histórico-Arquitetônico em Realidade Aumentada, SIGRADI* (2012)
- [11] Dias, Leonel; Coelho, António; Rodrigues, André; Rebelo, Carlos; Cardoso, André. “GIS2R - Augmented Reality and 360° Panoramas Framework for Geomarketing”. CISTI 2013





# Realidad Virtual y localización interior de contenidos para gafas inteligentes.

## Casos de estudio en el patrimonio de la UNESCO

Isidro Navarro Delgado y Oriol de Reina

Proyectos aplicados de Realidad Virtual por localización interior y tecnología iBeacon para dispositivos móviles y gafas inteligentes. Los proyectos se han realizado en colaboración con alumnos de arquitectura e Ingeniería de La Salle Campus Barcelona, Universidad Ramón Llull. Los casos de estudio se desarrollaron en edificios del Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO durante el curso académico 2015.

**E**l acceso a la cultura es un derecho universal<sup>1</sup> y la tecnología puede facilitar los medios para hacerlo posible. Muchos son los casos de estudio de aplicación de tecnologías móviles en los museos<sup>2</sup>. Estas aplicaciones se pueden clasificar en función de si se produce en un espacio real (museos y espacios expositivos) o virtual (entornos digitales accesibles desde los dispositivos móviles). 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 interactuar desde cualquier dispositivo con los objetos de exposición para poder visualizarlos en 360 grados. Algunos sistemas han creado espacios específicos para los museos como Sketchfab<sup>3</sup>. Este tipo de contenido, enriquecido con datos y referencias, amplía el espacio del museo a los entornos virtuales que los usuarios han aceptado como válidos. Por otro lado, cada vez más los museos incluyen nuevas tecnologías en los propios espacios con video-guías, pantallas táctiles, proyecciones interactivas, etc.<sup>4</sup>. Desde la aparición de la tecnología móvil, 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. Esto se ha denominado el método BYOD ("BringYourOwnDevice")<sup>5</sup> o "lleva tu propio dispositivo" al museo. Las aplicaciones móviles exhiben contenidos más allá de los elementos físicos y que aportan un valor añadido a las piezas y edificios. También se han desarrollado pruebas con esta metodología en entornos más académicos donde los estudiantes utilizan sus móviles y tabletas para acceder a contenidos educativos en las aulas<sup>6</sup>.

Las experiencias en museos y edificios patrimoniales han centrado la atención en la accesibilidad, la usabilidad y la calidad del contenido<sup>7</sup>. Muchas propuestas están orientadas a personas con discapacidades, niños y personas mayores, otras a la facilidad de uso y la autonomía del visitante en la navegación de los contenidos. Todos estos factores han de sumarse para una experiencia satisfactoria.

En el campo de la educación dedicamos una gran parte del tiempo a elaborar metodologías que incluyan nuevas tecnologías en proyectos docentes<sup>8</sup>. En este caso, la larga trayectoria en casos de estudio con incorporación de tecnologías móviles ha sido avalada por la comunidad científica en diversas publicaciones en revistas de impacto.

Los proyectos han tenido siempre en común la evaluación de los factores como la mejora del aprendizaje, la facilidad de uso, la motivación en los estudiantes y la validación de la propia metodología por los participantes. Los temas escogidos se enmarcaron siempre en el ámbito de la arquitectura dado que se trabaja desde las escuelas de Arquitectura de Barcelona (ETSALS-URL y ETSAB-UPC). El perfil alumnos son estudiantes de arquitectura y de multimedia del Campus La Salle Barcelona.

### OBJETIVOS

Los dos proyectos tienen un objetivo principal que consiste en la localización del usuario para mostrar el contenido adecuado para una experiencia satisfactoria. El primer caso se desarrolla como mejora de la usabilidad de un proyecto existente en Casa Batlló. En el segundo caso como parte de un proyecto de accesibilidad para usuarios discapacitados.

Otro objetivo es la validación de proyectos de investigación en el ámbito profesional. El estudio ha formado parte de prácticas realizadas por estudiantes en el sector profesional tecnológico. La investigación y el desarrollo tiene aplicación directa en proyectos reales, esto crea una motivación especial en los estudiantes.

La culminación del estudio supone establecer las pautas y recursos de futuros proyectos basados en esta tecnología.

## METODOLOGÍA

El proceso se ha estructurado en varios apartados:

- Estudio de las tecnologías a emplear: Realidad Virtual y localización interior.
- Definición del método de cálculo para la localización mediante iBeacons.
- Desarrollo de aplicación genérica de localización interior.
- Integración en vídeo-guía de Realidad Virtual de Casa Batlló.
- Integración de gafas inteligentes EPSON.
- Integración en gafas low-cost y dispositivos móviles en La Seu Vella.
- Análisis de resultados y líneas de futuro.

Esta distribución responde a una evolución gradual del proyecto y de las aplicaciones implementadas en los casos reales. La validación de los resultados ha marcado el ritmo de la investigación. A continuación se describen los apartados en detalle.

### Estudio de las tecnologías a emplear: Realidad Virtual y localización interior

Se ha sugerido un tipo de tecnología específica como es la Realidad Virtual por posicionamiento. Este criterio se ha establecido con el objetivo de integrar este proyecto en un conjunto de experiencias que se están desarrollando desde la universidad. Algunas experiencias anteriores han incorporado Realidad Aumentada, desarrollo de aplicaciones móviles interactivas, escenarios virtuales 3D on-line, etc.

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<sup>9</sup>. 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"<sup>10</sup>. Las explicaciones técnicas o procesos de creación y construcción son otros recursos muy comunes de la Realidad Virtual<sup>11</sup>.

La localización interior se aplica para ubicar a 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. 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, vídeo, animación, modelos 3D, etc.).

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, así como gafas inteligentes MOVERIO BT-200 de la marca EPSON que están basadas en plataforma Android también. En la última experiencia se utilizaron gafas de cartón de la empresa LABS4GLASS.

En esta etapa de la investigación, se han estudiado las balizas ESTIMOTE con las que inicialmente no estaban pensadas para trabajar en Android. Éste ha sido un primer reto en el proyecto. Los responsables de la empresa mantuvieron una reunión en el proceso de desarrollo y valoraron muy positivamente el trabajo, aportando algunas ideas que se podrían incluir en el método de cálculo del posicionamiento. Ésta ha sido otra de las tareas en la mentoría del estudiante, a quien se le ha facilitado el contacto con los proveedores de la tecnología.

Para el desarrollo de contenidos se emplearon varios formatos y programas. En el proyecto de Casa Batlló se desarrolló una aplicación Android con el programa Unity y los archivos de programación en C# y JavaScript para la configuración del posicionamiento. En el caso de gafas inteligentes se configuró una nueva aplicación Android con intercambio de señal Bluetooth 3.0 a 4.0, mediante un dispositivo externo compuesto por una placa integrada y receptores de señal con batería externa. En el último proyecto de La Seu Vella, los contenidos se generaron con imágenes esféricas de 360° que se mostraban en una aplicación Android en formato estereoscópico.

### Definición del método de cálculo para la localización mediante iBeacons

Esta etapa ha sido la más complicada y se ha prolongado durante todos los proyectos que se explican a continuación. Se han mejorado los métodos de cálculo por parte del alumno y se ha tutorizado en cada fase.

El posicionamiento se determinará por triangulación de los usuarios. Las señales de radiofrecuencia (tipo bluetooth) y su potencia serán los elementos a estudiar. El método de cálculo es por simulación numérica de diversas variables y filtros debido a la gran oscilación de la señal. Estas oscilaciones dependen de la orientación del usuario a los emisores, de la geometría de los espacios, de las interferencias magnéticas, etc. Todo son factores que alteran la intensidad de las señales y, por lo tanto, se tendrán en cuenta para un cálculo por aproximación.