

Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional

Ubiquitous Learning Environment with Augmented Reality and Tablets to Stimulate Comprehension of the Tridimensional Space

Jorge De la Torre Cantero

Universidad de La Laguna
jcantero@ull.es

Norena Martín-Dorta

Universidad de La Laguna
nmartin@ull.edu.es

Jose Luis Saorín Pérez

Universidad de La Laguna
jlsaorin@ull.es

Carlos Carbonell Carrera

Universidad de La Laguna
ccarbone@ull.es

Manuel Contero González

Universidad Politécnica de Valencia
mcontero@dig.upv.es

Resumen

En este artículo se analiza la adopción de alternativas digitales a modelos físicos mediante las tecnologías de realidad aumentada y las tabletas multitáctiles. El objetivo es ofrecer un entorno de aprendizaje ubicuo para estimular la comprensión del espacio tridimensional. Para ello se han realizado tres pruebas piloto durante el curso académico 2011-2012, en las que participaron 62 estudiantes de tres ámbitos educativos diferentes de la isla de Tenerife: Grado en Bellas Artes de la Universidad de La Laguna, estudiantes de educación secundaria del IES La Laboral y un grupo de profesores de secundaria de las asignaturas de Arte y Tecnología. El estudio se ha realizado con seis modelos físicos de aluminio pintado. Se ha dispuesto de la versión digital de seis modelos en Realidad Aumentada y en tableta multitáctil. Se ha realizado una valoración global y una valoración específica sobre las tecnologías utilizadas. De los resultados de este estudio se obtiene que ambas tecnologías son alternativas válidas para la sustitución de los modelos físicos en entornos digitales.

Palabras claves

Aprendizaje ubicuo, Aprendizaje móvil, Realidad Aumentada, Tablet.

Abstract

In this paper, two digital alternatives are analyzed against use of tangible models (physical parts) for sketching and analyzing forms: these are augmented reality and digital tablets. For this purpose, three pilot tests have been performed during the academic year 2011-2012, where 62 students took part in it. These students came from three different educational setting: Arts Degree at La Laguna University, IES La Laboral high school and a group of Art and Technology subject's high school teachers. The study has been performed with six tangible models of painted aluminum. The digital versions of these digital models have been created on a digital tablet and augmented reality over a PC. An overall evaluation and specific evaluation over the technology used has been performed too. From

the results of this study, we have concluded that both technologies are valid alternatives for the substitution of tangible models in digital environments.

Keywords

Ubiquitous learning, mobile learning, augmented reality, tablets.

1.- Introducción.

Para la comprensión de la relación entre el mundo real (entornos y modelos tridimensionales) y las representaciones bidimensionales, los modelos físicos se utilizan con frecuencia para que los estudiantes puedan realizar sus bocetos desde distintos puntos de vista. La aparición de las tecnologías gráficas avanzadas está influyendo en la manera en que los usuarios pueden manipular la realidad, ofreciendo la posibilidad de sustituir los modelos físicos o corpóreos por modelos virtuales con los que poder interactuar de forma intuitiva. Entre estas tecnologías destacan la realidad aumentada y los dispositivos multitáctiles. En ambas, la interfaz es gestual se aproxima a la manera de relacionarse con el objeto real (Yi-Chen et al, 2011).

A lo largo de estos últimos años la investigación en interfaces avanzadas hombre-máquina ha sido un campo de mucho desarrollo. Un aspecto importante a destacar de estas nuevas interfaces es que permiten interactuar al usuario con la información gráfica a través de la manipulación directa. El informe Horizon ya hablaba desde el año 2010 de la computación móvil, de la realidad aumentada y de la computación basada en gestos, con horizontes de implantación de uno, dos a tres y de tres a cinco años, respectivamente. En el año 2012, este informe incide en elementos que van mucho más allá de la tecnología: las oportunidades para el aprendizaje informal, poder estudiar y trabajar dónde y cuándo quieras; el cloud computing; el trabajo colaborativo; el cambio que supone internet para la educación, etc. (De Castro Lozano, 2012).

En el año 2006 el grupo Dehaes, grupo de investigación en habilidades espaciales de la Universidad de La Laguna, realiza el primer taller en el que utiliza modelos físicos de aluminio para la mejora de la capacidad espacial de los estudiantes (Saorín et al, 2009; Martín-Dorta, Saorín & Contero, 2008). Este taller se ha repetido en niveles universitarios desde esa fecha. Cuando se comenzó a impartir en niveles preuniversitarios (secundaria, bachillerato y ciclos superiores de formación profesional) se detectaron ciertas dificultades: el traslado del material era incómodo y además sería costoso que esos centros pudieran reproducir la experiencia sin estos modelos.

Estos antecedentes nos llevan a pensar en la posibilidad de sustituir los modelos físicos por modelos digitales. En ese momento se pensó que la realidad aumentada y las tabletas digitales multitáctiles podían ofrecer la posibilidad de manipular un modelo digital en tres dimensiones de forma similar a como lo haríamos con un modelo físico (De la Torre et al., 2011). Aunque estas interfaces no sustituyen a las piezas reales, al menos su manipulación con las manos es muy semejante a la experiencia de manipular la realidad.

Considerando lo expuesto, en el año 2010 se decide replantear uno de los ejercicios del taller Anfore3D¹ para su posible implantación dentro de un Entorno

¹ <http://www.anfore3d.com>

Virtual de Aprendizaje, cambiando los modelos físicos de aluminio por modelos digitales. En este trabajo se estudia las posibilidades que ofrecen las tecnologías de realidad aumentada y tabletas mutitáctiles en la sustitución de modelos físicos por modelos digitales, con el objetivo de comprender el espacio y las relaciones 2D-3D. Con esta premisa se trata de aportar una metodología de trabajo que pueda servir, no sólo en el campo de la expresión gráfica, sino en aquellos trabajos en los que se requiera la manipulación e iteración con modelos tridimensionales.

2.- El aprendizaje en movilidad.

Las tecnologías de la información y comunicación (TICs) han venido a revolucionar en muchos aspectos la vida del ser humano y el ámbito educativo no ha sido una excepción. El aprendizaje móvil (mobile learning ó m-learning) es definido como la impartición de educación y formación por medio de dispositivos móviles. Se considera una evolución natural del e-learning o aprendizaje electrónico, diferenciándose de ese en que el uso de la tecnología móvil confiere flexibilidad al aprendizaje, dado que los estudiantes pueden aprender en cualquier momento y en cualquier lugar.

El m-learning es un concepto relativamente nuevo en el ámbito pedagógico del aprendizaje. El primer trabajo publicado que pone su atención en el aprendizaje móvil surge en el año 2000, en la revista *Computers & Education*, donde Mike Sharples (2000) examinó el potencial de los nuevos diseños apoyados en tecnologías móviles que permitieran mejorar los programas de aprendizaje permanente y las oportunidades de educación continua para adultos. Muchas, si no todas, de las ideas planteadas en este trabajo de Sharples siguen evolucionando y son de gran interés en el m-learning hoy en día. Sharples es uno de los investigadores más activos en el campo del aprendizaje móvil.

Donna Abernathy, en el artículo *"Get Ready for M-Learning"* (2001), alerta sobre el potencial de este tipo de aprendizaje. Abernathy observa que el m-learning no trata de sustituir el PC, sino que ayudará a complementar los objetivos de aprendizaje de las empresas con herramientas instantáneas. Entre 2002 y 2006, comenzaron a aparecer numerosos estudios indicando que las tecnologías que soportan el m-learning se están expandiendo y que comienzan a ser comunes en una gran variedad de entornos de aprendizaje.

Zapata-Ros (2012) caracteriza el aprendizaje móvil o ubicuo por ser el que utiliza dispositivos que las personas utilizan y llevan a todas partes. Entiende que el llamado aprendizaje ubicuo pone énfasis en las posibilidades de acceder e interoperar con recursos y personas en todos los sitios, y que el llamado aprendizaje móvil incide más los dispositivos "móviles". En cualquier caso, los considera términos equivalentes.

Pero desde el año 2010, el aprendizaje móvil o ubicuo ha evolucionado, enriqueciéndose de nuevas tecnologías: la realidad aumentada, por ejemplo; y ampliando su cobertura a otros dispositivos que le pueden ofrecer nuevas metas: este es el caso de las tabletas multitáctiles. Las tabletas son dispositivos de reciente aparición, por lo que existen pocas experiencias documentadas sobre su uso en la docencia. Desde la introducción del iPad, se han realizado distintos estudios sobre su uso como

herramienta educativa, junto con otras relacionadas con los Tablet PC en general. Sin embargo, el foco de la mayoría ha estado en el iPad, debido a la funcionalidad de la herramienta en comparación con algunos otros dispositivos de este tipo. Tiene la ventaja de una gran gama de aplicaciones disponibles y de que goza de una buena credibilidad.

Los investigadores han explorado el impacto de estos dispositivos en una serie de situaciones hasta la fecha, sobre todo en ensayos a pequeña escala (Glicksman, 2011; García & Friedman, 2011). Sin embargo, existe una coincidencia considerable en los resultados de estos estudios, los cuales, además de destacar los beneficios considerables de su uso, también ponen de relieve una serie de cuestiones técnicas, pedagógicas y de gestión que las escuelas tienen que resolver. Los resultados del estudio en la Academia Longfield, utilizando metodologías de investigación similares, sirven para confirmar aún más el potencial de estos dispositivos como herramientas para el aprendizaje ubicuo (Heinrich, 2012).

En un estudio realizado en el seno del *Speak Up National Research Project* en Estados Unidos (2011) y sobre una muestra de 416.000 estudiantes de tercer a duodécimo grado, se encontró que el 50% de los alumnos de secundaria disponían de Smartphones y el 21% de tablets personales. Es probable que estos porcentajes hayan aumentado desde entonces, ya que los precios se vuelven cada vez más competitivos. Es necesario, por tanto, considerar el potencial de los dispositivos móviles en la educación identificados por los investigadores hasta el momento.

Los resultados actuales de las investigaciones de Melhuish & Falloon (2010), Glicksman (2011), Learning Exchange (2011), Spang (2011) y el reciente estudio de la Academia Longfield (Heinrich, 2012), muestran los valores positivos del uso de las tabletas en los procesos de aprendizaje. Sin embargo, hay algunos, como Traxler (2010), que continúan llamando a la prudencia y expresando sus reservas sobre la convergencia de varias tecnologías en los modernos dispositivos inteligentes. Expresa su preocupación porque considera que todavía tenemos que ver el nacimiento de un dispositivo genérico de convergencia y que, *"una arquitectura basada en cajas cerradas dedicadas significa que esta situación no va a cambiar"*.

Traxler (2010) además señala que, *"Los dispositivos de propiedad de los estudiantes será, en el mejor de los casos, poco adecuado para el aprendizaje, diferentes y cambiantes, a menudo por razones que no son técnicas, ni educativas, y probablemente ni siquiera lógicas y previsibles"*. Este punto de vista, que podía tener alguna validez en el momento en que Traxler escribió su artículo, comienza a quedar obsoleto. Muchas escuelas por todo el mundo están adoptando sus primeras medidas para convertir el aula en un espacio de aprendizaje ubicuo. La tecnología se desarrolla rápidamente y esto plantea sus propios problemas para las escuelas, tales como la garantía de que exista una comunidad de plataformas y aplicaciones. No obstante, cuando la escuela reconoce el carácter personal del dispositivo y adapta su enfoque y la pedagogía a la demanda existente, es posible, como se refleja en el estudio de la escuela de secundaria Longfield Academy, quienes integran los iPads como una herramienta más para el aprendizaje. De hecho, Traxler (2010) destaca que las tecnologías móviles son difíciles de ignorar, ya que *"impregnan todos los momentos y lugares de vida de los estudiantes"*.

Melhuish & Falloon (2010) nos llevan a considerar cómo las tecnologías móviles están redefiniendo lo que constituye un espacio de aprendizaje, que ya no se

fija en el tiempo y que está basado en conectar a la gente entre sí y la información a través de espacios virtuales de colaboración y comunidades. Recientemente, el estudio “*The iPad as a tool for education – a case study*” (Heinrich, 2012), uno de los más extensos hasta ahora sobre el uso de tabletas, evidencia un impacto significativo y muy positivo en el aprendizaje de la mayoría de los alumnos en la escuela Longfield, junto con cambios más importantes y aún en desarrollo de aspectos pedagógicos. Este estudio examina el impacto en la enseñanza y el aprendizaje de la introducción de tabletas iPad en la Escuela Longfield Academy, en la ciudad de Kent, en el Reino Unido, desde septiembre de 2011. Involucró a unos 960 estudiantes de la escuela, de edades entre 7 y 13 años. Los estudiantes han mostrado una gran aceptación de los dispositivos y un importante impacto sobre su motivación, su capacidad de investigar, de comunicar y de colaborar. En el caso de los profesores, se destaca que aprovechan cada vez más la gama de aplicaciones educativas disponibles. Se detectaron algunos problemas técnicos que fueron identificados y tratados. Los resultados de este estudio en la escuela Longfield demuestran claramente el valor de la iPad como una herramienta educativa.

En el ámbito de la ingeniería gráfica y de los trabajos de campo en tareas técnicas, el aprendizaje en movilidad o ubicuo tiene importantes potencialidades. En Saorín et al. (2011) se recopilan un conjunto de apps para la enseñanza del dibujo, el diseño y las artes plásticas, donde se analizan visualizadores 3D, aplicaciones de dibujo vectorial, dibujo raster y de diseño asistido (CAD) y que pueden tener aplicación también en el trabajo de campo que realizan los profesionales de titulaciones del ámbito de la arquitectura, la ingeniería y el diseño, entre otras.

3.- La Realidad aumentada y sus aplicaciones en educación.

Actualmente existen múltiples aplicaciones y propuestas innovadoras bajo la tecnología de la Realidad Aumentada, que posibilitan relacionar imágenes reales y virtuales, además de la posición geográfica del usuario en un entorno.

La realidad aumentada (RA) es una tecnología que permite la interacción del usuario con el mundo físico y real que lo rodea. La RA combina tres dimensiones (3D) de objetos generados por ordenador y texto superpuesto sobre imágenes reales y vídeo, todo en tiempo real. La RA permite al usuario ver el mundo real con objetos virtuales superpuestas o compuestas con el mundo real (Azuma, 1997). Es una mezcla de elementos reales y elementos virtuales añadidos. Los objetos virtuales pueden ser manipulados por el individuo, que puede coordinar sus movimientos con las manos para obtener el punto de vista de que mentalmente desea. Esta tecnología no es la misma que la realidad virtual (RV), como ya existe como una parte de la realidad física que se añade la parte virtual sintético. Azuma (1997) define RA como una variación de los entornos virtuales (Martín-Gutiérrez et. al., 2010).

Ian Sutherland crea el primer sistema de realidad aumentada en el año 1968. Debido a las limitaciones tecnológicas del momento, sólo se podían visualizar modelos simples en tiempo real (Martín-Gutiérrez, J., 2010). La primera publicación data de 1992 (Caudell & Mizell, 1992), donde se estudian las ventajas de la RA frente a la Realidad Virtual (RV). En 1966 se presenta (Rekimoto, 1996) un sistema de marcas planas 2D que permite el seguimiento de la cámara con seis grados de libertad. En 1997 se publica el primer estudio sobre RA (Azuma, 1997) y se empiezan a desarrollar

aplicaciones con RA (Feiner, MacIntyre, Höllerer y Webster, 1997). En 1999 se presenta ARToolkit, una librería de marcas fiduciales cuadradas a partir de las cuales se puede obtener la orientación de las marcas. ARToolkit está disponible en código abierto y es una herramienta muy utilizada para el desarrollo de aplicaciones en RA de manera sencilla (Martín-Gutiérrez, 2010).

La realidad aumentada (RA) es una tecnología utilizada en distintos contextos. Encontramos ejemplos de uso en el ámbito militar, en la medicina, en el diseño en ingeniería, en la robótica, en aplicaciones de fabricación, en mantenimiento y reparación, en la enseñanza y el aprendizaje, en el entretenimiento, en tratamientos psicológicos, etc. (Azuma, 1997; Azuma, 2001).

En las siguientes líneas se destacan algunas de las primeras aplicaciones desarrolladas con fines educativos:

1. *Construct3D* (Kaufmann, 2004) es un sistema de RA para la construcción de geometrías 3D. Fue diseñado para el aprendizaje de las matemáticas y la geometría. Se ha probado con los estudiantes para comparar el aprendizaje tradicional con el sistema de RA.
2. El *Mixed Reality Lab* de Singapur² ha desarrollado varios sistemas de RA con fines educativos, tales como: un sistema de RA para el aprendizaje del sistema solar, un sistema de RA para aprender cómo germinan las plantas, etc.
3. Billingham, Kato & Poupyrev (2001) presentó el *Magic Book*. Parece un libro normal, pero las páginas son marcadores. Cuando el sistema detecta un marcador, se muestra una imagen o se inicia una historia en video. Este tipo de libros se puede utilizar para el aprendizaje, cuenta cuentos, etc.
4. El *Magic Story Cube* (Zhou, Cheok, Pan & Li, 2004) utiliza un cubo como una interfaz tangible que está plegado o desplegado.
5. AR-DEHAES, un augmented book desarrollado en el año 2008 por el grupo de investigación en habilidades espaciales de la Universidad de La Laguna, junto con el Instituto Interuniversitario de investigación en Bioingeniería y Tecnología Orientada al ser humano de la Universidad Politécnica de Valencia (LabHuman) (Martín-Gutiérrez et al., 2011)

4.- El modelo propuesto: aprendizaje ubicuo para entender la relación 2D-3D.

En muchos ámbitos de la formación, los estudiantes necesitan imaginar objetos en diferentes orientaciones, manipular modelos tridimensionales, trasladar mentalmente dibujos de dos a tres dimensiones, en papel o en programas de diseño asistido por ordenador (Figura 1). Esta habilidad se revela, por tanto, como necesaria para que los estudiantes aborden con éxito los contenidos docentes. Distintos autores relacionan un alto nivel de estas capacidades con el éxito en carreras técnicas. El pensamiento espacial es esencial para el pensamiento científico y se utiliza para representar y manipular información en el aprendizaje y en la resolución de problemas (Smith, 1964; McGee, 1979; Clements & Battista, 1992). Parece evidente que estas habilidades se utilizan

² www.mixedrealitylab.org

ampliamente en la ingeniería, arquitectura y construcción, pero también en muchas titulaciones del ámbito artístico y científico.

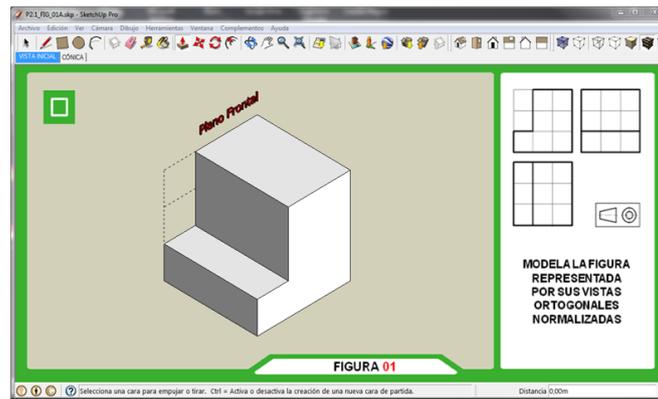


Figura 1. Taller Anfore3D

En el año 2006 el grupo Dehaes, grupo de investigación en habilidades espaciales de la Universidad de La Laguna, realiza el primer taller en el que utiliza modelos físicos de aluminio para la mejora de la capacidad espacial de los estudiantes (Saorín et al, 2009; Martín-Dorta, Saorín & Contero, 2008). Se detectaron ciertas dificultades con los modelos físicos: el traslado del material era incómodo y costoso.

Se piensa en la realidad aumentada y los modelos 3D sobre tabletas digitales multitáctiles como posibles sustitutos de los modelos físicos por la posibilidad que ofrecen de poder manipular un modelo digital en tres dimensiones de forma similar a como lo haríamos con un modelo físico (De la Torre et al., 2011). Aunque estas interfaces no sustituyen a las piezas reales, al menos su manipulación con las manos es muy semejante a la experiencia de manipular la realidad.

Con estos antecedentes, este trabajo pretende ofrecer una metodología para implementar en ambientes en los que el espacio tridimensional y la relación 2D-3D tiene protagonismo, según se refleja en el esquema de la Figura 2 (en la página siguiente).

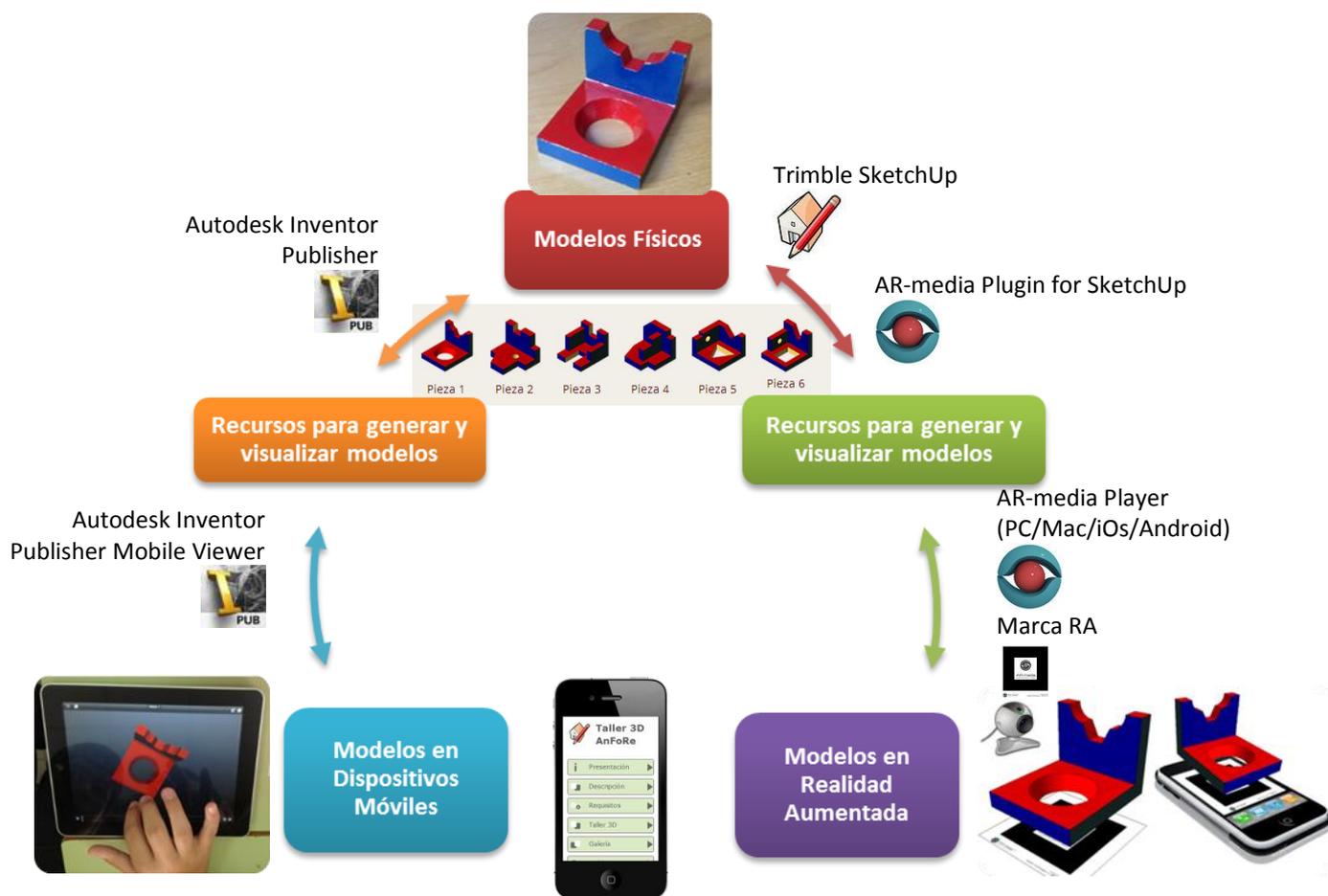


Figura 2. Relación entre modelos

Modelos físicos de aluminio

En esta experiencia se utiliza un juego de 6 piezas diferentes de aluminio con las caras pintadas en color rojo y dorado del maletín M14 (lote 14A) de la empresa Maditeg (Maditeg, 1997).

Modelos en realidad aumentada

Para generar los modelos 3D en realidad aumentada, primero se modelaron las 6 piezas con el software Trimble SketchUp 8 en su versión gratuita y posteriormente se generaron los ficheros de Realidad Aumentada con el plugin AR-media para SketchUp de Inglobe Technologies³.

³ http://www.inglobetechnologies.com/en/new_products/arplugin_su/info.php

Para visualizar los modelos en realidad aumentada, se proponen distintos métodos según los dispositivos de soporte: (1) cámaras web en ordenador y un visualizador gratuito de realidad aumentada (ARPlayer) (2) cámara de los dispositivos móviles (iOS ó Android) y la App gratuita ARplayer. Todos ellos requieren de la marca normalizada de AR-Media.

Modelos en tabletas

En esta experiencia se utilizaron las tabletas digitales de la marca Apple, modelo iPad 2. Se generaron los modelos para dispositivos móviles con el software Autodesk® Inventor Publisher 2012. La App gratuita Inventor® Publisher Mobile Viewer, disponible para iOS y Android, es la que nos permite visualizar los modelos en la tableta e interactuar con ellos.

5.- Evaluación de los distintos soportes

Con el objetivo de evaluar la viabilidad de sustituir los modelos físicos por modelos digitales en realidad aumentada o en tableta, se realiza una prueba donde los participantes tienen que dibujar las vistas normalizadas de seis piezas (Figura 3). Dos de ellas las hacen con las piezas físicas de aluminio, dos con las piezas en realidad aumentada y las otras dos con las piezas en la tableta digital (Figura 4).

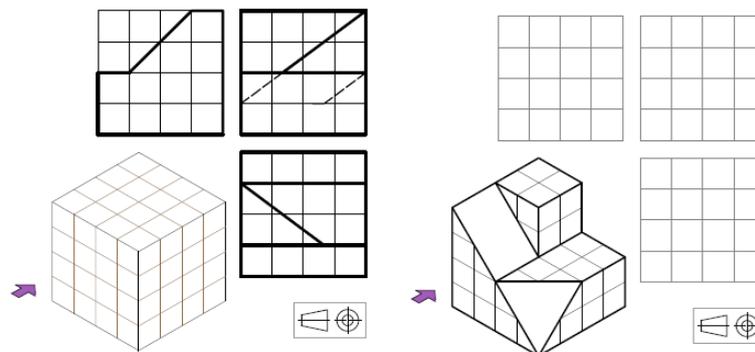


Figure 3. Ejemplo de ejercicios de vistas normalizadas

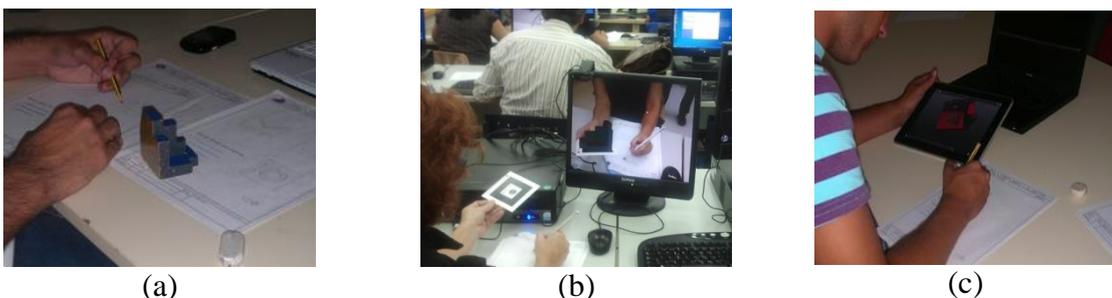


Figure 4. Ejecución de las tareas utilizando los distintos modelos: (a) Modelos físicos, (b) en Realidad Aumentada y (c) en Tablet Digital

5.1.- Participantes

Esta prueba piloto se llevó a cabo en diferentes entornos educativos en los que se trabaja con la representación normalizada:

- Con estudiantes universitarios,
- Con estudiantes de secundaria y,
- Con profesores de educación secundaria.

Se realizaron tres pruebas piloto. En la primera han participado un total de 33 estudiantes del segundo curso del Grado en Bellas Artes de la Universidad de La Laguna, en la asignatura de Técnicas de Representación. En la segunda han participado un total de 12 estudiantes de 4º curso de la ESO del Instituto de Enseñanza Secundaria La Laboral de La Laguna en la asignatura de Tecnología. En la tercera prueba piloto han participado un total de 17 profesores de distintos institutos de la isla de Tenerife de las asignaturas de tecnología y dibujo (Tabla 1).

Tabla 1: Participantes

Centro educativo	Asignatura	Participantes	Edad media
2º Bellas Artes	Sistemas de Representación	33	23,55
4º ESO IES Laboral	Tecnología	12	15,24
Profesores Instituto	Dibujo y Tecnología	17	43,12
Total		62	

5.2.- Medida

Después de finalizar las actividades se administró a los participantes un cuestionario con la finalidad de:

1. Valorar de manera global las tecnologías empleadas.
2. Valorar específicamente las alternativas digitales (Realidad Aumentada y tabletas) empleadas en torno a tres parámetros: mejora de la atención en clase, utilidad y facilidad de uso.

Para la valoración global se utilizó una escala de 0 a 9 (0 = muy negativa a 9 = muy positiva).

Para la valoración específica de las tecnologías empleadas en este estudio se administró un cuestionario con una escala de 1 a 5 tipo Likert, tipo smile, articulado entorno a tres dimensiones, con dos ítems cada uno:

I: Mejora de la atención en clase: el uso de la Realidad Aumentada /modelos corpóreos /modelos 3D en Tablet Digital ha hecho que haya prestado más atención en esta sesión de clase que si no la utilizara (Ítems 1 y 2).

II: Utilidad: el uso de Realidad Aumentada /modelos corpóreos /modelos 3D en Tablet Digital en este taller me ha parecido útil e interesante (Ítems 3 y 4).

III: Facilidad de uso de las tecnologías (realidad aumentada y tabletas digitales): mover los modelos 3D de las piezas a representar utilizando la pantalla de la Tableta Digital/ Realidad Aumentada me ha resultado sencillo (Ítems 5 y 6).

5.3- Análisis de los datos

Valoración Global

En la Tabla 2, se detallan los valores medios de la valoración global realizada por los participantes.

Tabla 2. Resultados cuestionario valoración global (desviación típica)

Tecnología	Bellas Artes N=33	4º ESO N=12	Profesores N=17	Media N=62
Modelos Físicos	8,00 (1,30)	6,58 (1,44)	8,06 (1,39)	7,74 (1,45)
Realidad Aumentada	6,24 (1,56)	7,50 (1,68)	8,47 (0,72)	7,10 (1,70)
Tabletas Digitales	7,45 (1,23)	8,50 (0,80)	8,71 (0,47)	8,00 (1,15)

Los datos de los 62 participantes reflejan una valoración positiva, tanto de los modelos físicos como de su versión digital, tanto en realidad aumentada como en las tabletas, siempre con valores entre 7 y 9.

Para valorar cuál de las dos tecnologías alternativas es mejor valorada por los participantes, se realiza una prueba t-Student. Se parte de la hipótesis nula (H_0): “La valoración de las tecnologías alternativas a los modelos físicos es similar” y se obtiene un p-valor que representa la probabilidad de que dicha afirmación sea cierta.

Tabla 3. Determinación p-valor comparativa

Comparativa RA/Tablets.	Valoración		p-valor
	R.A.	Tablets	
Valoración Global	7,10	8,00	6,01279E-11

El *p-valor* obtenido, 6,01279E-11 es menor que 0,01, es decir, el nivel de significación no llega al 1% (Tabla 3), por lo que se rechaza la hipótesis nula y se puede afirmar con un nivel de significación superior al 99% que la valoración media de las dos tecnologías es significativamente distinta, y que existe una preferencia por las Tablet Digitales frente a la Realidad Aumentada.

Si se realiza el mismo análisis en cada uno de los entornos educativos que han participado en la prueba (Tabla 4):

Tabla 4. Determinación p-valor por entornos educativos

Comparativa RA/Tablets.	Valoración		p-valor
	R.A.	Tablets	
Bellas artes	6,24	7,45	9,78039E-11
4º ESO	7,50	8,50	0,013
Profesores	8,47	8,71	0,020

Los estudiantes de Bellas Artes prefieren las tabletas digitales (7,45) a la Realidad Aumentada (6,24). El *p-valor* obtenido, 9,78039E-11 es menor que 0,01, por lo tanto se puede afirmar que existe una preferencia por las tabletas digitales frente a la Realidad Aumentada con un nivel de significación superior al 99%.

En el caso de los estudiantes de 4º de la ESO, sin embargo, la diferencia entre la valoración de la Realidad Aumentada (7,50) y las Tablet Digital (8,50) no es estadísticamente significativa: el *p-valor* obtenido (0,013) es mayor que 0,01. Lo mismo ocurre con el colectivo de profesores: no se aprecian diferencias de valoración entre las dos tecnologías, (*p-valor*: 0,02>0,01).

Valoración Específica

La Figura 5 recoge los resultados (valores medios de los 62 participantes) del cuestionario sobre valoración específica de las tecnologías empleadas en el taller:

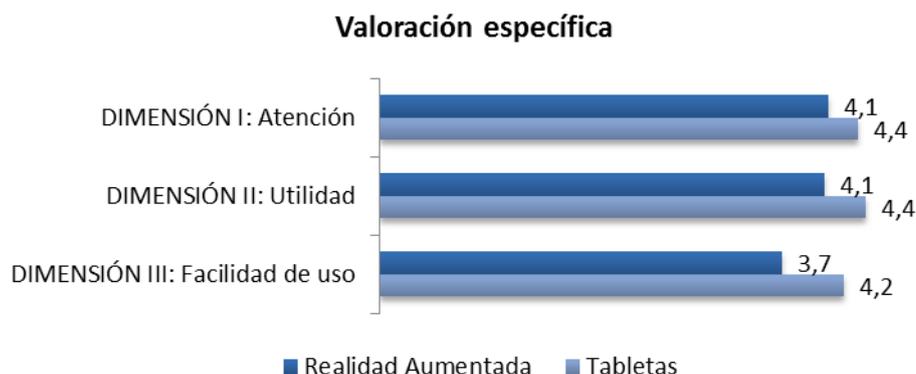


Figura 5. Resultados cuestionario valoración específica: valores medios

En las tres dimensiones analizadas (mejora de la atención en clase, utilidad y facilidad de uso) se obtienen valores superiores a 4,00, con la excepción de la facilidad de uso de la realidad aumentada, que presenta un valor de 3,7. La realidad aumentada arroja valores inferiores a las tabletas en todos los casos.

Los resultados del cuestionario de valoración específica en cada uno de los entornos educativos se muestran en la Figura 6.

Los estudiantes de Bellas Artes son los que valoran peor, en ambos casos, las tecnologías alternativas a los modelos físicos. En comparación con los alumnos de Bellas Artes, los resultados de la valoración específica de las nuevas tecnologías de los

alumnos de 4º de la ESO arrojan unos valores superiores en relación a los ítems analizados. En ambos colectivos, las tabletas digitales siempre obtienen una mejor valoración.

El profesorado es el que valora más positivamente estas nuevas tecnologías, aventajando las tabletas digitales a la realidad aumentada solo en términos de facilidad de uso. En el resto de los ítems analizados, la mejora de atención y la utilidad, la valoración es la misma (4,9 en ambos casos).

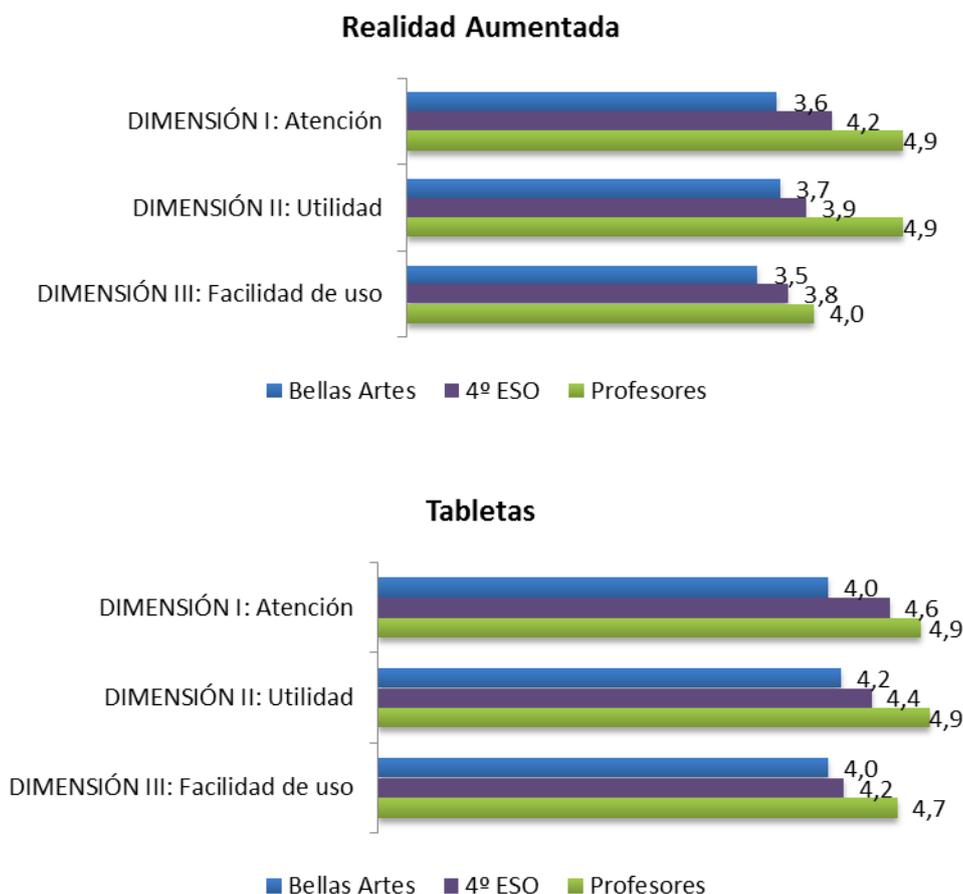


Figura 6. Resultados del cuestionario de la valoración específica según entornos educativos

6.- Conclusiones y futuros trabajos

La experiencia realizada nos permite extraer algunas conclusiones para poder extrapolar los resultados a otros escenarios educativos:

- Las dos tecnologías utilizadas como alternativa a los modelos físicos, la realidad aumentada y tabletas digitales, han sido valoradas positivamente por todos los usuarios, con valores medios de 7,10 y 8,00 (sobre 9). Existe una preferencia estadísticamente significativa por las tabletas digitales en cuanto a su valoración global.

- Analizando cada uno de los colectivos que han participado en el estudio, esta preferencia por las tabletas digitales no se aprecia en los alumnos de 4º de la ESO y en el sector del profesorado, quienes valoran ambas tecnologías digitales de forma similar.
- En términos de valoración específica, las tres variables analizadas (mejora de la atención en clase, utilidad y facilidad de uso) obtienen valores superiores a 4 (sobre 5), salvo en relación a la facilidad de uso, donde la realidad aumentada obtiene una valoración inferior a 4 (3,66).

Podemos destacar además que la metodología propuesta se puede utilizar en otros contextos distintos a los de la representación normalizada y la comprensión del espacio tridimensional. La utilización de modelos tridimensionales se usa habitualmente en otros ámbitos educativos, por ejemplo, en la enseñanza de la química (estructuras moleculares), en biología, en artes plásticas, etc. Actualmente se trabaja en el desarrollo de nuevas aplicaciones de esta tecnología en otros contextos: libros aumentados, enseñanza del Análisis de las Formas y su Representación y contenidos del ámbito técnico.

Fin de redacción del artículo: diciembre de 2012

De la Torre, J. et al. (2013). Entorno de aprendizaje ubicuo con realidad aumentada y tabletas para estimular la comprensión del espacio tridimensional. *RED, Revista de Educación a Distancia. Número 37. Número especial dedicado a "Aprendizaje ubicuo"*. 15 de abril de 2013. Consultado el (dd/mm/aaaa) en <http://www.um.es/ead/red/37>

Referencias

- Abernathy D. (2001). Get Ready for M-Learning - mobile learning - Statistical Data Training & Development.
- Azuma, R. T. "A Survey of Augmented Reality". Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1997, Vol. 6, N. 4, pp. 355 – 385.
- Azuma, R., Bailiot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21, pp. 34–37.
- Billinghurst, M., Kato, H. & Poupyrev, I. (2001). The Magic Book-Moving Seamlessly between Reality and Virtuality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. May/June, pp. 1-4.
- Caudell, T. P., & Mizell, D.W. (1992). Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual manufacturing Processes. Proceedings of the 25th Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences (HICSS), 659-669. Hawaii, USA.

- Clements, D., & Battista, M. (1992). Geometry and Spatial Reasoning. In A. E. Kelly, & R. A. Lesh, *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (pp. 420-464). New York: Macmillan Publishing Company.
- De Castro Lozano, C. (2012). El futuro de las tecnologías digitales aplicadas al aprendizaje de personas con necesidades educativas especiales. RED, Revista de Educación a Distancia, 32. Consultado el (10/12/2012) en <http://www.um.es/ead/red/32>
- De la Torre, J., Saorín, J.L., Carbonell, C., Del Castillo, M.D. & Contero, M.(2012). Modelado 3d como herramienta educativa para el desarrollo de competencias de los nuevos grados de Bellas. Artes. *Arte, Individuo y Sociedad*, 24 (2). Consultado el (10/12/2012) en <http://revistas.ucm.es/index.php/ARIS/article/view/39025>
- De la Torre, J; Saorín, J.L., Martín-Dorta, N. & Contero, M. (2011). Tecnologías gráficas avanzadas aplicadas al análisis de las formas y su representación. Taller de modelado mediante el uso de ejercicios de papel, software 3d y realidad aumentada.
- Feyner, S., Macintyre, B., Höllerer, T., & Webster, A. (1997). A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. *Proceeding of the first International Symposium on Wearable Computers (ISWC '97)*, pp. 74-81. Cambridge, MA, USA.
- Garcia, E.R. & Freidman, A. (2011). There's an App for That: A Study Using iPads in a United States History Classroom. *Paper for Wake Forest University Department of Education*.
- Gliksman, S. (2011). What do Students Think of Using iPads in Class? Pilot Survey Results. Consultado el (10/12/2012) en <http://ipadeducators.ning.com/profiles/blog/list?q=Pilot+survey>
- Heinrich, P. (2012). The Ipad as a Tool for Education. A Study of the Introduction of iPads at Longfield Academy, Kent. Naace. Consultado el (10/12/2012) en <http://www.naace.co.uk/publications/longfieldipadresearch>
- Kaufmann, H. (2004). Geometry Education with Augmented Reality, PhD Dissertation thesis, Vienna University of Technology.
- Learning Exchange. (2011). *iPads in Schools: Use Testing*. Catholic Education – Diocese of Parramata, Australia.
- Maditeg. (1997). Didactic Material for Engineering Design Graphics: M14 briefcase: Modelos de tres vistas y cortes. Santander: Enterprise Suministros Maditeg.
- Martín Gutiérrez, J., Navarro, R. E., & Acosta González, M. (2011). Mixed Reality for Development of Spatial Skills of First-Year Engineering Students. *Proceeding of the IEEE 2011 Frontiers in Education Conference*. Rapid City, South Dakota, October 12-15.

- Martín Gutiérrez, J., Saorín, J.L., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D.C., & Ortega, M. (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34 (2010), 77-91.
- Martin-Dorta, N., Saorín, J. L., & Contero, M. (2011). Web-based Spatial Training Using Handheld Touch Screen Devices. *Educational Technology & Society*, 14 (3), 163–177.
- Martin-Dorta, N., Saorín, J.L. & Contero, M. (2008). Development of a Fast Remedial Course to Improve the Spatial Abilities of Engineering Student. *Journal of Engineering Education*, 97 (4), 505-514.
- Martín-Gutiérrez, J. (2010). Estudio y evaluación de contenidos didácticos en el desarrollo de las habilidades espaciales en el ámbito de la ingeniería. Tesis Doctoral. Valencia: Universidad politécnica de Valencia. España.
- Martín-Gutiérrez, J., Saorín, JL., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, DC., Ortega, M. (2010). Design and Validation of an Augmented Reality for Spatial Abilities Development in Engineering Students. *Computer & Graphics*, 34(1), 7-91.
- McGee, M. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86, pp. 889-918.
- Melhuish, K. & Falloon, G. (2010). Looking to the future: M---learning with the iPad. *Computers in New Zealand Schools: Learning, Leading, Technology*, 22(3).
- Rekimoto, J. (1996). Augmented Reality Using the 2D Matrix Code. Proceedings of the 4th Workshop on Interactive Systems and Software (WISS`96). Japón.
- Saorín-Pérez, J. L., Navarro-Trujillo, R. E., Martín-Dorta, N., Martín-Gutiérrez, J. & Contero, M. (2009). Spatial skills and its relationship with the engineering studies. *Dyna*, 84(9), 721-732.
- Sharples, M. (2000). The Design of Personal Mobile Technologies for Lifelong Learning. *Computers & Education*, Volumen 34, pp. 177-193.
- Smith, I. (1964). Spatial ability: Its educational and social significance. London: The University of London Press.
- Spang, A.J. (2011). Das iPad im Unterricht an der KAS: Mobiles Lernen an der Kaiser Augusta Schule.
- Traxler, J. (2010). Will student devices deliver innovation, inclusion and transformation? *Journal of the Research Centre for Educational Technologies*, 6 (1), 3–15.
- Yi-Chen, C., Hung-Lin, Chi, Wei-Han, H. & Shih-Chung, K. (2011). Use of Tangible and Augmented Reality. Models in Engineering Graphics Courses. *Journal of*

Professional Issues in Engineering Education & Practice, Volumen 137, No. 4, pp. 267-276.

Zapata-Ros, M. (2012) Calidad y entornos ubicuos de aprendizaje. RED, Revista de Educación a Distancia. Número 31.- Revisado en http://www.um.es/ead/red/31/zapata_ros.pdf el 10/12/2012.

Zhou, Z., Cheok, A.D., Pan, J. & Li, Y. (2004). Magic Story Cube: an Interactive Tangible Interface for Storytelling. *International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE 2004)*, poster N. 10.