



Realidad Aumentada en la enseñanza de hormigón reforzado: percepción de los alumnos

Aid-augmented reality for reinforced concrete class: students' perception

ID **Dra. Gláucia Nolasco de Almeida Mello** es docente e Investigadora de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais (Brasil) (gnamello@pucminas.br) (<https://orcid.org/0000-0002-2865-8782>)

ID **Dr. Julio Cabero Almenara** es docente e Investigador de la Universidad de Sevilla (España) (cabero@us.es) (<https://orcid.org/0000-0002-1133-6031>)

Recibido: 2019-08-19 / **Revisado:** 2019-11-23 / **Aceptado:** 2019-12-07 / **Publicado:** 2020-01-01

Resumen

Para el ingeniero de estructuras, la habilidad de visualización espacial es especialmente importante para la comprensión del posicionamiento correcto de los elementos estructurales en un diseño. Así, para mejorar la habilidad de visualización espacial del alumno, en esa investigación fue propuesto el desarrollo de actividades utilizándose una aplicación para dispositivos móviles con los recursos de la Realidad Aumentada (RA). Las actividades fueron planeadas para la asignatura Hormigón Reforzado en el octavo semestre del curso de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais en Brasil. Dieciocho alumnos matriculados en esa asignatura en el primero semestre de 2019 hicieron las actividades propuestas. Fueron elaboradas cuatro actividades utilizándose los recursos de RA para la aplicación Sketchfab. El instrumento elegido para la evaluación de la percepción del estudiante fue un cuestionario basado en el modelo de aceptación de tecnología TAM (*Technology Acceptation Model*), que fue adaptado en este estudio. Observándose las respuestas de los alumnos sobre la utilidad y facilidad e intención de uso de los recursos, concluyese que la RA es un recurso importante para mejorar la habilidad de visualización espacial de ellos pues facilitan la visualización de los detalles de las estructuras y hacen el aprendizaje más divertido.

Descriptores: Ingeniería civil, diseño estructural, hormigón reforzado, visualización espacial, Realidad Aumentada, informática educativa.

Abstract

For the structural engineer, spatial visualization ability is especially important for understanding the correct positioning of structural elements in a design. In order to improve the student's spatial visualization ability, in this investigation the development of activities was proposed using an application for mobile devices with the resources of Augmented Reality (AR). The activities were planned for the Reinforced Concrete subject in the eighth semester of the Civil Engineering course of the Pontifical Catholic University of Minas Gerais in Brazil. Eighteen students enrolled in that subject in the first semester of 2019 did the proposed activities. Four activities were developed using the RA resources for the Sketchfab application. The instrument chosen for the evaluation of student perception was a questionnaire based on the technology acceptance model (TAM), which was adapted in this study. By the students' answers about the usefulness and ease and intention of using the resources, it was concluded that the RA is an important resource to improve their spatial visualization ability because they facilitate the visualization of the details of the structures and make the learning more fun.

Keywords: Civil engineering, structural design, reinforced concrete, spatial visualization, augmented reality, computer assisted instruction.

1. Introducción

Las edificaciones de estructuras de hormigón, acero, madera u otro material, con sus arreglos complejos de los elementos estructurales, son comúnmente representadas en un conjunto de dibujos en dos dimensiones. En estos se indican la cantidad, la longitud y el diámetro de los aceros y, también, sus posiciones dentro de los elementos estructurales. En las universidades se han utilizado los dibujos y las imágenes estáticas, bidimensional (2D) o tridimensional (3D), para transmitir la complejidad de los arreglos de aceros y sus modos de interacción. De acuerdo con Fogarty, McCormick y El-Tawil (2018), la representación 2D requiere que los estudiantes construyan una imagen del elemento estructural o conjunto de varios elementos con información y experiencia limitadas. Por otra parte, el énfasis en dibujos bidimensionales de las estructuras tridimensionales en los cursos ingeniería civil suele obstaculizar la capacidad de los estudiantes para la visualización espacial de los arreglos. Visualizar arreglos espaciales y complejos puede ser un desafío para algunas personas cuanto más cuando hay la deformación de estos arreglos en varios escenarios de carga u otros estímulos externos. Maier (1994 *apud* Sorby, 2001) ha indicado que las actividades que envuelven visualización 3D son especialmente importantes para profesiones tecnológicas como, por ejemplo, la ingeniería, donde la habilidad de visualización espacial (HVE) y la rotación mental se hacen completamente necesarias.

Una revisión de las pruebas utilizadas para la evaluación de la HVE puede observarse en el trabajo de Lin (2016). En ese conjunto de pruebas se encuentra las pruebas de la Universidad de Purdue - *Purdue Spatial Visualization Test* (PSVT), que fue utilizada por Sorby y Veurink (2012) para evaluar la capacidad de visualización espacial de estudiantes estadounidenses y la de otras partes del mundo. En la investigación los autores, concluyen que las diferencias culturales en la educación preuniversitaria entre los

estudiantes que cursaban los mismos estudios, pero pertenecían a otros países, son probablemente un factor importante que caracterizan las habilidades espaciales poco desarrolladas. Por su parte, Segil, Sullivan, Tsai, Reamon y Forbes (2017) investigaron la capacidad de visualización espacial, de estudiantes de varios países que se estaban formando en EE.UU, proponiendo los autores, un *workshop* para los estudiantes que no hubieran obtenido la media necesaria en la prueba PSVT para que mejorasen sus calificaciones, hecho que ocurrió pero que no fue suficiente.

Con la finalidad de mejorar HVE en los estudiantes, Mello, Maia y Calixto (2016) planean y desarrollan un sitio de internet para la enseñanza de proyectos de hormigón reforzado. Entre otras actividades, el sitio tiene una aplicación web para calcular elementos estructurales (vigas y columnas) de hormigón reforzado. Por medio de la aplicación los alumnos pueden interactuar con el programa informático y determinar la rotación de la estructura; esa aplicación fue producida en lenguaje de programación Java, con recursos Java 3D. Por su parte, Fogarty *et al.* (2018) han investigado el uso de herramientas de realidad virtual para ayudar a los estudiantes a comprender lo complejo del concepto de “pandeo” en estructuras. Este estudio, realizado mediante la combinación de métodos mixtos, analiza los exámenes previos y posteriores que cubren temas que requieren habilidades de visualización espacial, así como también encuestas y entrevistas a los estudiantes que usaron las herramientas de realidad virtual. Los resultados cuantitativos indican que los estudiantes pueden identificar y visualizar los modos de “pandeo” de forma más precisa después de la experiencia de realidad virtual. Los resultados encontrados muestran que los estudiantes expresan una mejor comprensión, mayor entusiasmo por el tema y mayor deseo de que otros temas sean presentados usando herramientas de realidad virtual.

Aunque los investigadores han evidenciado los factores principales que comprometen el



proceso de enseñanza y aprendizaje en ingeniería (Molyneaux, Setunge, Gravina & Xie, 2007; Mello, 2016), en especial la dificultad que tienen sus estudiantes en la visualización espacial (Sorby, 2001; Katsio-Loudis & Jones, 2015; Mello *et al.*, 2016, Fogarty *et al.*, 2018), se deben explorar otras estrategias educativas para mejorar la HVE de los estudiantes en la enseñanza de ingeniería de estructuras. En este escenario, el objetivo general de esa investigación fue planear y desarrollar actividades utilizándose aplicación para dispositivos móviles con los recursos de la Realidad Aumentada (RA), para las disciplinas de hormigón reforzado en el curso de Ingeniería Civil.

Para alcanzar el objetivos de la investigación las fases que se siguieron fueron: (1) elección de las herramientas para el desarrollo de la aplicación; (2) planeamiento de las actividades de la disciplina de hormigón reforzado realizadas en aplicación RA; (3) desarrollo de los modelos 3D para RA; (4) utilización en clase de la aplicación para realización de las actividades planeadas; (5) evaluación de las actividades propuestas con respecto a la calidad didáctica, técnica y estética, y su facilidad de utilización y aceptación por medio de un cuestionario respondido por los alumnos.

1.1. Realidad Aumentada

Azuma (1997) señala que la Realidad Aumentada es cualquier sistema que tenga las tres siguientes características: combina el mundo real y virtual, es interactivo en tiempo real y está registrado en tres dimensiones. Realidad Aumentada (RA) que es un campo de investigación en ciencias de la computación que combina realidad y datos digitales, esto es, emplea visión por computadora, procesamiento de imágenes y técnicas gráficas para fusionar contenido digital en el mundo real. Cabero y Barroso (2016) en la presentación de las posibilidades de utilización de RA en la educación mostraron algunas ventajas del uso de ese recurso: (1) ayudan en la adquisición del conocimiento que se vuelve esencial para relacionar y comprender los conceptos aprendidos por medio de la interacción

con los recursos de RA con el entorno real; (2) promueven un aprendizaje más personalizado de modo que cada alumno pueda progresar al ritmo marcado por sus propias capacidades e intereses y; (3) propician a los estudiantes un mayor nivel de interacción y exploración tanto sobre información como sobre objetos.

Akçayir, Akçayir, Pektas y Ocağ (2016) investigaron los efectos del uso de tecnologías de RA en laboratorios de ciencias y participaron 76 universitarios de primero año, todos estudiantes con edad entre 18 y 20 años. Cada uno de ellos fueron asignados a un grupo experimental y otro de control. Mientras que el grupo experimental utilizó un manual de laboratorio asistido por RA, el grupo de control usó un manual de laboratorio tradicional. La experiencia de 5 semanas reveló que la tecnología RA mejoró significativamente el desarrollo de habilidades de laboratorio de los estudiantes universitarios. Además, los ayudó a desarrollar actitudes positivas hacia los laboratorios de física, aumentando la motivación de los alumnos.

Por su parte, Ayer, Messner y Anumba (2016) encargaron a los estudiantes la realización de una actividad en que debían diseñar, visualizar y evaluar el proyecto de paredes exteriores para adaptarlos a una instalación existente y mejorar su desempeño sostenible. Participaron de la investigación 34 estudiantes de ingeniería arquitectónica, 47 de arquitectura y 27 de ingeniería civil. Todos ellos recibieron la misma actividad de diseño usando un juego educativo basado en Realidad Aumentada llamado eco-Campus. Los autores compararon a los estudiantes que usaron ecoCampus con los 65 estudiantes que completaron una actividad de diseño similar utilizando solo espacios en blanco con hojas de papel y otro grupo de 23 estudiantes que utilizaron una aproximación en papel del ecoCampus computarizado. Basándose en los resultados, ellos concluyeron que los estudiantes de todas las disciplinas que usaron ecoCampus pudieron romper la tendencia a la fijación del diseño. Los estudiantes también utilizaron la aplicación para



evaluar sus diseños y generar conceptos adicionales con un mejor rendimiento general en todas las disciplinas si comparados con los estudiantes que usaron formatos en papel.

Meža, Turk y Dolenc (2015) produjeron un prototipo que se probó en un edificio real, y llevaron a cabo una investigación cuyo objetivo fue evaluar el uso potencial de la RA en el área de diseños de ingeniería civil. Los autores entrevistaron a un grupo de usuarios potenciales a quienes se les pidió que comparasen el prototipo con los métodos convencionales de presentación de diseños; ellos concluyeron que el uso de la RA proporciona la posibilidad de pasar de diseños bidimensionales a fotorrealistas en proyecciones tridimensionales. Las barreras para la adopción de la RA, aclaradas por los autores (Meža *et al.*, 2015) fueron el conservadurismo percibido en el sector empresarial de la construcción y el tamaño de los modelos tridimensionales generalmente requeridos para ese sector. Li, Nee y Ong (2017) investigaron la aplicación de los recursos de RA en algunas áreas de ingeniería y publicaron una revisión de la literatura sobre el tema. De acuerdo con Li *et al.* (2017), los estudios seleccionados emplearon diferentes métodos de visualización, como la superposición de imágenes, la programación OpenGL y un kit de software especial para visualizar datos volumétricos y resultados de simulación numérica. Sin embargo, la mayoría de los estudios utilizan la RA como herramienta de visualización y se descuida la posibilidad de interacción. De manera general, Barroso, Gutiérrez, Llorente y Valencia (2019), han apuntado una serie de dificultades que los docentes han tenido para la incorporación de la RA en la enseñanza, que van desde la novedad de la tecnología hasta la falta de investigaciones sobre su puesta en acción.

1.2. Percepción del alumno por medio del modelo TAM

El modelo de aceptación de tecnología (*Technology Acceptation Model*-TAM) fue adap-

tado de la teoría de la acción razonada (*Theory of Reasoned Action*-TRA) por Davis en 1986 (Abdullah & Ward, 2016) para explicar el comportamiento de una persona para la adopción de tecnología (Davis, 1989). En el modelo TAM, se proponen algunas variables externas para delinear el impacto de los factores externos en las dos percepciones principales del usuario en relación con el uso de la tecnología: (1) la facilidad de uso percibida y (2) la utilidad percibida. Según Davis (1989), el primero influye directamente en el segundo y ambos influyen en las actitudes positivas o negativas de los usuarios con respecto al uso de la tecnología. La actitud hacia el uso de la tecnología influye en la intención de comportamiento de usar la tecnología. Y, la intención de comportamiento de usar la tecnología determina el uso real (Davis, 1989; Abdullah & Ward, 2016). La Figura 1 muestra el esquema del modelo TAM, según Davis (1989). Varios investigadores han aplicado el modelo TAM para explicar la aceptación del usuario de diferentes herramientas y recursos tecnológicos educativos (Chow, Herold, Choo & Chan, 2012; Cheung & Vogel, 2013; Schoonenboom, 2014; Wu & Chen, 2017; Cabero & Pérez, 2018). Schoonenboom (2014), utilizó un cuestionario TAM adaptado para medir la importancia de la tarea, el rendimiento de la tarea, la utilidad de los sistemas de gestión de aprendizaje (LMS), su facilidad de uso y la intención de utilizarlo, para 18 diferentes tareas educativas entre 180 instructores de una universidad holandesa. Según el autor, los resultados mostraron que el modelo TAM es más ampliamente aplicable para la combinación de herramienta/tarea. Cheung y Vogel (2013) por su parte, adaptaron el modelo TAM para explicar los factores que influyen en la aceptación de las aplicaciones de Google para el aprendizaje colaborativo. El modelo personalizado se evaluó empíricamente utilizando datos recopilados de 136 estudiantes matriculados en un programa de grado a tiempo completo que utilizaron aplicaciones de Google para apoyar las actividades. Según los resultados de la inves-

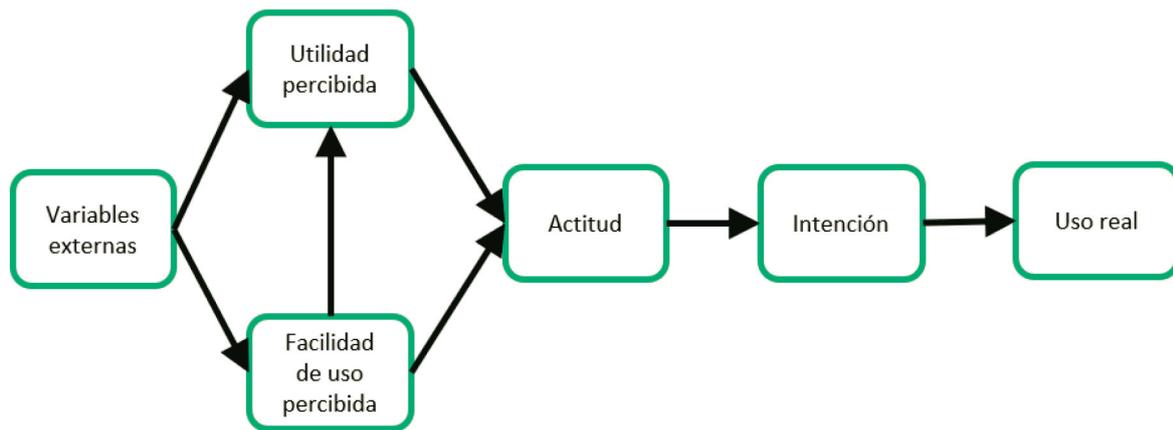


tigación, los determinantes del modelo de aceptación de tecnología son los principales factores que influyen en la adopción de tecnología. Los autores afirmaron que todas las hipótesis relacionadas con el TAM original son válidas.

El modelo TAM propone que sean identificadas las diferentes variables externas que pueden incidir en la utilidad y la facilidad de

uso percibidas por los usuarios de tecnología. De acuerdo con Cabero y Pérez (2018), aún que diferentes estudios han sugerido nuevas propuestas y el modelo ha evolucionado a lo largo del tiempo, él permanece esencialmente compuesto de un conjunto simple de variables identificadas, como en la formulación original, que se presentan como robustas y confiables.

Figura 1. Modelo TAM



Fuente: Adaptado de Al-Emran, Mezhuyev y Kamaludin (2018)

2. Metodología

El presente proyecto es una investigación descriptiva y de enfoque cuantitativo para validar la metodología y las herramientas elegidas para las actividades planeadas, con el objetivo de establecer si el uso de la RA motiva y ayuda el aprendizaje del alumno en las asignaturas de hormigón reforzado.

2.1. La asignatura y los participantes

La investigación se desarrolló en la asignatura de “Expresión Gráfica” del octavo semestre del curso de Ingeniería Civil. Esta asignatura es parte del contenido obligatorio del curso de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica de Minas Gerais en Brasil. En esa asignatura los alumnos no solo deben interpretar los dibujos de diseños de estructuras hechos como también

deben representar, en dibujos 2D, toda la estructura de hormigón reforzado ya calculada. En el primer semestre de 2019, dieciocho estudiantes inscritos en la asignatura fueron invitados a participar en la investigación y todos aceptaron participar. Todos los alumnos matriculados en la asignatura respondieron un cuestionario después de usar los recursos de RA propuestos para algunas actividades del curso.

2.2. Los recursos computacionales

Los proyectos detallados para la temática de “losas y vigas bidimensionales” fueron representados utilizándose el software AutoCAD (<https://www.autodesk.com.br/products>) de diseño gráfico. Para el desarrollo del modelo 3D se utilizó el software para modelaje tridimensional, Sketchup (<https://www.sketchup.com>). Los motivos de su



elección fueron: su facilidad de uso y su capacidad de integrarse con AutoCAD. Para renderizar el modelo 3D, fue elegida la plataforma Sketchfab (<https://sketchfab.com/feed>). Hay dos formas de acceder a los modelos 3D disponibles en ella: a través del entorno web o mediante la aplicación para dispositivos móviles. La aplicación Sketchfab para dispositivos móviles permite observar modelos tanto en Realidad Aumentada como en realidad virtual. Para la producción de las actividades aplicadas en esta investigación, se eligieron dos formas para la visualización en 3D de los elementos estructurales: (1) acceso a través del entorno web Sketchfab y (2) a través de la aplicación para dispositivos móviles Sketchfab con acceso a la función RA. Adicionalmente, en el ambiente web hay posibilidad de insertarse recursos como texto y audio en los modelos 3D.

2.3. Las actividades

La asignatura “Expresión Gráfica” se divide en dos partes: clases teóricas y clases prácticas en laboratorio de computación. Durante las clases teóricas se presentan y discuten los contenidos relacionados al cálculo de hormigón reforzado con los estudiantes. En esas clases se usaron los modelos RA para facilitar la visualización tridimensional de las estructuras propuestas y facilitar la observación de los detalles. Por ejemplo, en la actividad 1, se presentó a los estudiantes el dibujo en 2D para el detalle de una viga de hormigón armado (Figura 2) con las explicaciones adecuadas sobre la distribución del refuerzo de acero de la viga. Luego se les pidió a los estudiantes que accediesen a la aplicación Sketchfab en sus *smartphones* o *tablets* para la visualización tridimensional de la viga (Figura 3), utilizando las funciones RA.

En las clases prácticas realizadas en el laboratorio de informática, se utilizaron los modelos

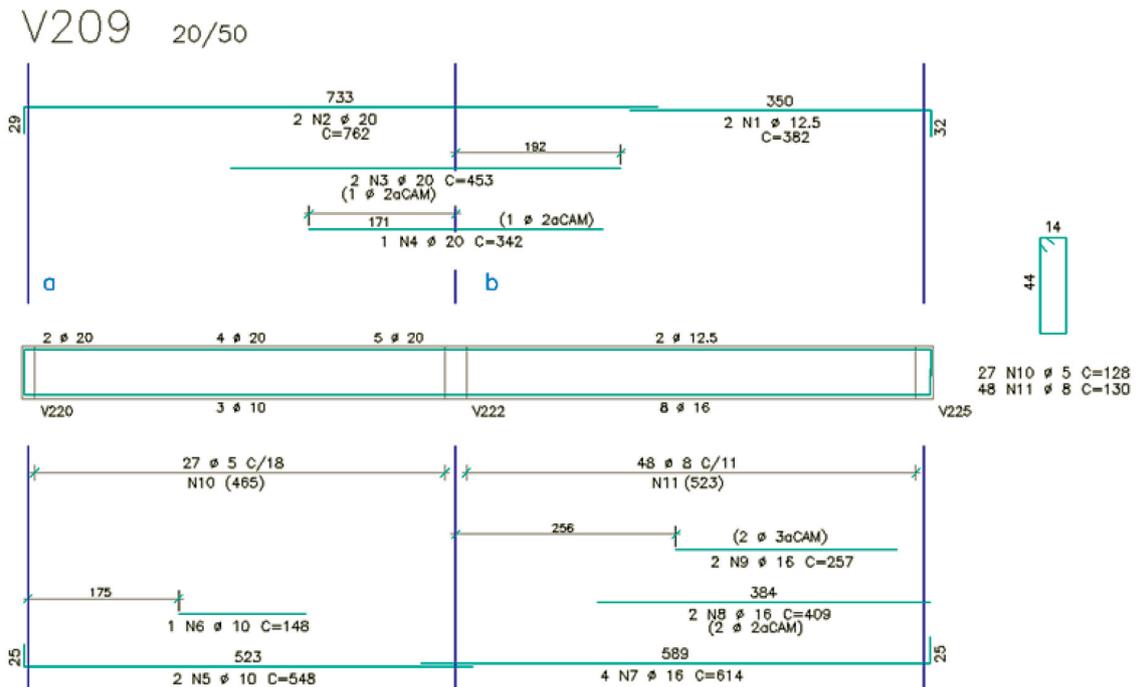
tridimensionales disponibles en la plataforma web Sketchfab. En ese modelo había instrucciones adicionales para realizar las tareas solicitadas, por ejemplo, relacionar el refuerzo representado en el proyecto 2D con el correspondiente en el modelo 3D. Estas actividades se realizaron en el laboratorio accediéndose la plataforma web Sketchfab. Los temas contemplados con los contenidos en RA son dibujos de losas y vigas de hormigón reforzado, con enfoque en los detalles de dibujos para las barras de acero que son utilizadas para refuerzo del hormigón. Para el primero semestre de 2019, se desarrollaron cuatro modelos tridimensionales: dos modelos de losa y dos modelos de viga. La Figura 2 presenta el modelo de diseño 2D para el detalle de una viga de hormigón reforzado. Las Figuras 3 y 4 presentan el modelo 3D para la viga detallada en la Figura 2. El modelo representado en la Figura 3 se accede a través del teléfono móvil. Por medio de la plataforma web se accede el modelo de la Figura 4.

El uso de la plataforma Sketchfab ha permitido agregar algunas características adicionales a los modelos 3D, por ejemplo, texto y audio. Al hacer clic en los círculos numerados en la Figura 4, la plataforma muestra un cuadro de texto. Este recurso se utilizó para pasar información a los estudiantes sobre lo que deberían observar en cada uno de los puntos de la estructura. Sin embargo, esta función solo está disponible para el acceso a modelos a través del entorno web.

Para el caso específico de estructuras de hormigón armado, los modelos son demasiado densos debido a la cantidad de barras de acero disponibles. Así, para las actividades propuestas, fueron producidos modelos para la visualización de partes de una estructura real. No se presenta ningún modelo que contenga la estructura completa del edificio.



Figura 2. Detalle de viga



Fuente: Elaboración propia

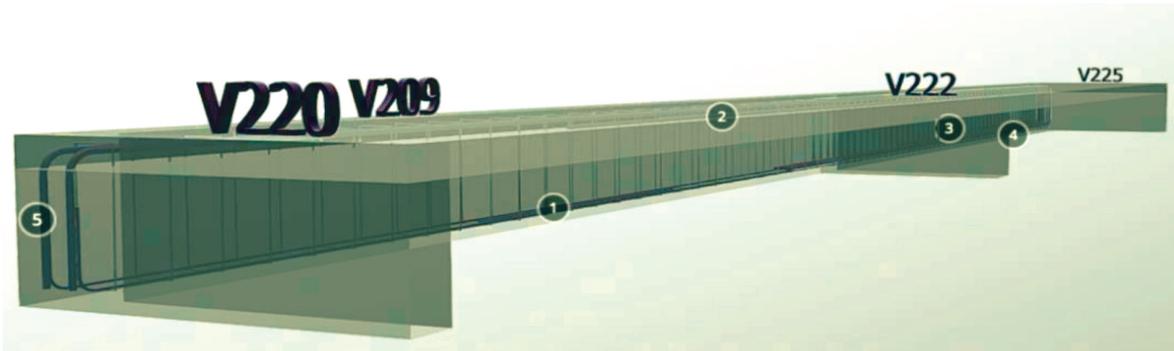
Figura 3. Modelo 3D en la aplicación Sketchfab para teléfono móvil



Fuente: Elaboración propia



Figura 4. Modelo 3D en la plataforma web Sketchfab



Fuente: Elaboración propia

2.4. El instrumento de evaluación

El instrumento utilizado para conocer el grado de aceptación que la utilización de la RA ha despertado en los estudiantes, fue un cuestionario respondido por todos los estudiantes matriculados en la disciplina. El cuestionario incorpora tres preguntas para caracterización del alumno y veintitrés cuestiones de escala Likert con 5 opciones. En las cuestiones de escala Likert, el alumno debería elegir la opción 5 si estaría totalmente de acuerdo con la afirmación y 1 si estaría totalmente en desacuerdo con la misma. Las veintitrés cuestiones de escala Likert fueron adaptadas de

la investigación de Cabero y Pérez (2018) para el análisis por el modelo TAM de evaluación de aceptación de la tecnología por una persona. Así, las cuestiones se agruparon en las siguientes categorías: nivel de conocimiento del alumno acerca de los tópicos (2); experiencia del alumno con aplicaciones y recursos visuales para aprendizaje de ingeniería de estructuras (3); utilidad de los recursos y herramientas percibida por el alumno (6); facilidad de uso de los recursos y herramientas percibida por el alumno (6) y; disfrute percibido e intención de utilizar nuevamente los recursos y herramientas (6). La Tabla 1 presenta las cuestiones de escala Likert y la clasificación de cada una de ellas.

Tabla 1. Clasificación de las cuestiones de escala de Likert

Categorías	Identificación	Afirmación
Conocimiento del alumno acerca de los tópicos	A1	Tengo dificultad para visualizar la disposición de las armaduras dentro de las estructuras de hormigón.
	A2	Antes de asistir la disciplina yo no poseía conocimiento suficiente sobre detalle de diseños en estructuras de hormigón reforzado.
Experiencia del alumno con aplicaciones y recursos visuales	A3	Nunca he utilizado recursos visuales 3D para el aprendizaje de diseño de estructuras.
	A4	Durante el curso de Ingeniería Civil, nunca he utilizado los recursos de RA para el aprendizaje.
	A5	Durante el curso de Ingeniería Civil, no he utilizado aplicaciones para el aprendizaje.



Categorías	Identificación	Afirmación
Utilidad de los recursos y herramientas percibida	A6	Los modelos 3D ayudan en la visualización de los detalles de las armaduras de las estructuras de hormigón reforzado.
	A7	Creo que es muy relevante la utilización de recursos visuales 3D para el aprendizaje de diseños de estructuras.
	A8	La utilización de RA favorece la visualización de las armaduras de los elementos estructurales de hormigón.
	A9	Creo que es muy relevante la utilización de aplicaciones para la enseñanza de diseños de estructuras de hormigón.
	A10	La utilización de la herramienta RA influyó positivamente en mi aprendizaje.
	A11	Los modelos 3D son adecuados para la presentación del contenido de la asignatura.
Facilidad de uso	A12	No tuve ningún problema para ver el modelo 3D en mi celular.
	A13	No tuve dificultad para utilizar la aplicación Sketchfab de RA.
	A14	Utilizar la herramienta Sketchfab de RA no requiere ninguna experiencia o habilidad especial.
	A15	Toda la información proporcionada para el uso de Sketchfab fue suficiente.
	A16	No tuve problemas para acceder a los textos disponibles en el modelo.
	A17	Los textos presentados en la herramienta están organizados de manera adecuada.
Disfrute percibido e intención de utilizar	A18	Es divertido utilizar la herramienta de RA.
	A19	Me sentí más motivado con las actividades RA.
	A20	El uso de la herramienta RA hace que el aprendizaje sea más interesante.
	A21	No me he aburrido utilizando la herramienta.
	A22	Me gustaría utilizar la herramienta en el futuro.
	A23	Las herramientas RA podrían ser utilizadas en otras asignaturas.

3. Resultados

De los dieciocho estudiantes participantes en la investigación, 11 (61,9%) eran de género masculino y 7 (38,9%) de género femenino; 15 estudiantes (83,3%) tenían de 21 a 25 años y 3 (16,7%) tenían más que 25 años. La mayoría (77,8%) de ellos ya tuvieron contacto con actividades de dibujos de estructura por medio del trabajo de aprendiz o de técnico en edificaciones.

La Tabla 2 muestra los porcentajes de respuestas para las 5 opciones de las 23 cuestiones de escala Linkert. Las afirmaciones A6-A11 están

relacionadas con la utilidad de los recursos y herramientas percibidos por el estudiante y de acuerdo con las opciones seleccionadas (Tabla 2). Para todas las afirmaciones de esa categoría más de ochenta porcientos de los alumnos concordaron totalmente con ellas, lo que indica una gran utilidad percibida por ellos.

Aunque la mayoría de los estudiantes tuvieron éxito en la utilización de la aplicación y visualización de los modelos 3D por medio del recurso de RA, se considera la importancia de presentar a ellos un tutorial más completo para instalación y utilización de los recursos, ya que, para algunos, sola la explicación oral no fuera suficiente. Ese



resultado se percibe en las respuestas de las afirmaciones A12 hasta A17 que pueden observarse en la Tabla 2, especialmente las respuestas de las afirmaciones A12 e A13 donde se retratan la dificultad para la visualización de las estructuras en RA en el teléfono móvil. Esa dificultad ocurrió por ni todos tener un dispositivo apropiado para la aplicación. En esos casos, los alumnos trabajaron juntos con sus compañeros.

A todos los alumnos, no solo les gustó las actividades, sino que también se sintieron moti-

vados con la utilización de RA para el aprendizaje de los contenidos de esa asignatura. Eso se ve en las respuestas de las afirmaciones A18 y A19 donde cien por ciento eligieron las opciones 5 o 4. Además, a todos los alumnos les gustaría utilizar la herramienta nuevamente (A22). También todos ellos recomendaron el empleo de RA en otras asignaturas del curso (A23), lo que confirma la relevancia de los modelos 3D para motivar el aprendizaje de ingeniería civil, y de la tecnología por nosotros aquí empelada.

Tabla 2. Resultado de las cuestiones de escala de Likert

Cuestiones de escala Linkert					
Identificación	5 (%)	4 (%)	3 (%)	2 (%)	1 (%)
A1	11,1	11,1	16,7	27,8	33,3
A2	22,2	5,6	33,3	11,1	27,8
A3	61,1	11,1	11,1	5,6	11,1
A4	88,9	5,6	5,6	0,0	0,0
A5	22,2	11,1	22,2	16,7	27,8
A6	88,9	5,6	0,0	0,0	5,6
A7	94,4	0,0	5,6	0,0	0,0
A8	88,9	5,6	5,6	0,0	0,0
A9	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A10	88,9	0,0	11,1	0,0	0,0
A11	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A12	50,0	27,8	16,7	0,0	5,6
A13	50,0	27,8	16,7	0,0	5,6
A14	61,1	22,2	16,7	0,0	0,0
A15	77,8	11,1	11,1	0,0	0,0
A16	83,3	11,1	5,6	0,0	0,0
A17	77,8	11,1	11,1	0,0	0,0
A18	77,8	22,2	0,0	0,0	0,0
A19	66,7	33,3	0,0	0,0	0,0
A20	88,9	11,1	0,0	0,0	0,0
A21	88,9	5,6	5,6	0,0	0,0
A22	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
A23	94,4	5,6	0,0	0,0	0,0



Conclusiones

Basándose en las respuestas de los alumnos, se cree que es positiva y relevante la utilización de recursos 3D por medio de RA, para mejorar la habilidad de visualización espacial (HVE) y por consecuencia el desempeño del alumno. Pero eso fue un estudio preliminar para probar el uso de RA en las asignaturas de estructuras de hormigón. La propuesta fue planear cuatro actividades con los recursos de RA y evaluar la percepción del alumno sobre la utilidad de los recursos y herramientas, la facilidad de uso de ellos y el disfrute e intensidad de utilizar los recursos nuevamente. Los resultados permitirán las adaptaciones necesarias para el empleo del recurso en otras clases y asignaturas. El estudio puso de manifiesto que, con la plataforma utilizada, Sketchfab, se lleva mucho tiempo procesar modelos con gran cantidad de objetos cuando se usa el teléfono móvil. Aunque se haya confirmado la declaración de Meža *et al.* (2015) sobre una de las principales barreras para el uso de RA con fines educativos: el tamaño de los modelos 3D, la aplicación elegida se presenta adecuada para los modelos más simples como los que fue presentados a los alumnos y que son suficientes para comprensión del contenido elegido.

También se obtuvo la necesidad de contar con la disponibilidad de los dispositivos adecuados para poder llevar a cabo la experiencia. Mismo con la limitación de disponibilidad de dispositivos adecuados, ni todos los alumnos tenían el móvil con la configuración necesaria, se puede ver en el análisis de los resultados del cuestionario, que el uso de RA para la visualización tridimensional es motivador para los estudiantes, ya que facilitan la comprensión de la distribución del refuerzo dentro de los elementos estructurales, permitiendo la realización de las actividades de una manera más divertida.

Nuestra investigación pone de manifiesto, y coincide con los resultados obtenidos por otros autores (Barroso, Cabero & Moreno, 2016; Marín, 2017; Barroso, Cabero & Gutiérrez,

2018; Martínez & Fernández, 2018; Cabero & Roig, 2019), donde fue utilizada con estudiantes universitarios de diferentes disciplinas, desde Medicina a Bellas Artes y Ciencias de la Educación. Por tanto, podemos señalar que el grado de aceptación de esta tecnología por los estudiantes, es bastante significativo, lo que nos lleva a su recomendación para la formación.

Como limitaciones del estudio debemos asumir que es un estudio de acceso a esta tecnología en nuestra Universidad brasileña, por tanto, se requiere su replicación con mayor número de estudiantes de Ingeniería Civil, y que cursen la asignatura de “Expresión Gráfica” en la misma universidad o en otras universidades brasileñas.

Como líneas futuras de investigación, se proponen diferentes, que van desde relacionar el grado de adopción de la tecnología de la RA como diferentes variables que pueden ser predictoras de las autopercepciones de los alumnos: edad, género o conocimientos, que los estudiantes mostraban de los contenidos de la asignatura implicada en la experiencia; al mismo tiempo puede ser interesante relacionar el grado de aceptación de la tecnología de la RA con el grado de aceptación de los dispositivos móviles por parte de los estudiantes (Seifert, Hervás-Gómez & Toledo-Morales, 2019).

Agradecimientos

Se agradece especialmente a la directoria y demás miembros del Secretariado de Recursos Audiovisuales y Nuevas Tecnologías de la Universidad de Sevilla (España) quienes han compartido sus experiencias.

Referencias bibliográficas

- Abdullah, F. & Ward, R. (2016). Developing a General Extended Technology Acceptance Model for E-Learning (GETAMEL) by analysing commonly used external factors. *Computers in Human Behavior*, 56, 238-256.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.11.036>



- Akçayır, M., Akçayır, G., Pektaş H. M. & Ocak, M. A. (2016). Augmented reality in science laboratories: The effects of augmented reality on university students' laboratory skills and attitudes toward science laboratories. *Computers in Human Behavior*, 57, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.054>
- Al-Emran, M., Mezghuyev, V. & Kamaludin, A. (2018). Technology Acceptance Model in M-learning context: A systematic review. *Computers & Education*, 125, 389-412. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.06.008>
- Azuma, R.T. (1997) A survey of augmented reality. Presence-Teleoperators and Virtual Environments, 6(4), 355-385.
- Ayer, S. K., Messner, J. I. & Anumba, C. J. (2016) Augmented Reality Gaming in Sustainable Design Education. *Journal of Architectural Engineering*, 22(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000195](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000195)
- Barroso, J., Gutiérrez, J. J., Llorente, M. d. C., & Valencia, R. (2019). Difficulties in the Incorporation of Augmented Reality in University Education: Visions from the Experts. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 8(2), 126-141. <https://doi.org/10.7821/naer.2019.7.409>
- Barroso, J., Cabero, J. & Moreno, A.M. (2016). La utilización de objetos de aprendizaje en Realidad Aumentada en la enseñanza de la Medicina. *Innoeduca. International Journal of Technology and Educational Innovation*, 2(2), 77-83.
- Barroso, J., Cabero, J. & Gutiérrez, J.J. (2018). La producción de objetos de aprendizaje en Realidad Aumentada por estudiantes universitarios grado de aceptación de esta tecnología y motivación para su uso. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 23(79), 1261-1283.
- Cabero, J. & Barroso, J. (2016). The educational possibilities of Augmented Reality. *New Approaches in Educational Research*, 5(1), 44-50. <https://doi.org/10.7821/naer.2016.1.140>
- Cabero, J. & Pérez, J. L. (2018). Validación del modelo TAM de adopción de la Realidad Aumentada mediante ecuaciones estructurales. *Estudios sobre Educación*, 34, 129-153. <https://doi.org/10.15581/004.34.129-153>
- Cabero, J. & Roig, R. (2019). The Motivation of Technological Scenarios in Augmented Reality (AR): Results of Dierent Experiments. *Applied Sciences*, 9. <https://doi.org/10.3390/app9142907>
- Cheung, R. & Vogel, D. (2013). Predicting user acceptance of collaborative technologies: An extension of the technology acceptance model for e-learning. *Computers & Education*, 63, 160-175. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.003>
- Chow, M., Herold, D. K., Choo, T. & Chan, K. (2012). Extending the technology acceptance model to explore the intention to use Second Life for enhancing healthcare education. *Computers & Education*, 59(4), 1136-1144. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.05.011>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13, 319-340.
- Fogarty, J., McCormick, J. & El-Tawil, S. (2018). Improving Student Understanding of Complex Spatial Arrangements with Virtual Reality. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 144(2), 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000349](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000349)
- Katsio-Loudis, P. & Jones, M. (2015). Using computer-aided design software and 3D printers to improve spatial visualization. *Technology & Engineering Teacher*, 14-20.
- Li, W., Nee, A. Y. C. & Ong, S. K. (2017). A State-of-the-Art Review of Augmented Reality in Engineering Analysis and Simulation. *Multimodal Technologies and Interact*, 1(3). <https://doi.org/10.3390/mti1030017>
- Lin, H. (2016). Influence of design training and spatial solution strategies on spatial ability performance. *International Journal of Technology & Design Education*, 26, 123-131. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9302-7>
- Marín, V. (2017). The augmented reality in the educational sphere of student of degree in childhood education. Case Study. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 51, 7-19. <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2017.i51.01>
- Martínez, S., & Fernández, B. (2018). Objetos de Realidad Aumentada: percepciones del alumnado de Pedagogía. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 53, 207-220.



- <http://dx.doi.org/10.12795/pixelbit.2018.i53.14>
- Mello, G. N. A. (2016). Teachers' perspective about factors that prevent success in teaching and learning process in higher education of engineering in Brazil. *Problems of Education in the 21st Century*, 74, 61-70. (<http://bit.ly/350Os5X>).
- Mello, G. N. A., Maia, E.V. & Calixto, J. M. F. (2016). CONCWEB: hybrid learning tool for reinforced concrete design. *ETD-Educação Temática Digital*, 18 (1), 156-177.
<https://doi.org/10.20396/etd.v18i1.8638248>
- Meža, S., Turk, Ž. & Dolenc, M. (2015). Measuring potential of augmented reality in civil engineering. *Advances in Engineering Software*, 90, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2015.06.005>
- Molyneaux, T., Setunge, S., Gravina, R. & Xie, M. (2007). An evaluation of the learning of structural engineering concepts during the first two years of a project-based engineering degree. *European Journal of Engineering Education*, 32(01), 01-08. (<http://bit.ly/2YH0krD>).
- Segil, J. L., Sullivan, J. F., Tsai, J. Y., Reamon, D.T. & Forbes, M. H. (2017). Investigation of spatial visualization skills across world regions. *Frontiers in Education Conference*, 18-21 de octubre, 2017. (<http://bit.ly/2P5ORP9>)
- Sorby, S. A. (2001). A course in spatial visualization and its impact on the retention of female engineering students. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*, 7, 153-172.
- Sorby, S. A., & Veurink, N. (2012). Spatial skills among minority and international engineering students. *American Society for Engineering Education*, 25. (<http://bit.ly/2PwLMqf>).
- Schoonenboom, J. (2014). Using an adapted, task-level technology acceptance model to explain why instructors in higher education intend to use some learning management system tools more than others. *Computers & Education*, 71, 247-256.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.016>
- Seifert, T., Hervás-Gómez, C. & Toledo-Morales, P. (2019). Diseño y validación del cuestionario sobre Percepciones y actitudes hacia el aprendizaje por dispositivos móviles. *kPixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 54, 45-64.
<https://doi.org/10.12795/pixelbit.2019.i54.03>
- Wu, B. & Chen, X. (2017). Continuance intention to use MOOCs: Integrating the technology acceptance model (TAM) and task technology fit (TTF) model. *Computers in Human Behaviour*, (67), 221-232.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.10.028>

