



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO  
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

Cartagena de Indias, Colombia  
18 al 21 de septiembre de 2018



# **LA INFLUENCIA DE LA HERRAMIENTA JaveCAVE EN EL PROCESO DE APRENDIZAJE PARA EL DESARROLLO DE PRODUCTO INNOVADOR**

**Álvaro E. Hilarión, Iván F. Mondragón B.**

**Pontificia Universidad Javeriana  
Bogotá, Colombia**

## **Resumen**

En el proceso de aprendizaje de competencias y habilidades para el Diseño y Desarrollo de Producto, la creatividad surge del interés del estudiante de solucionar problemas de índole general en pro del bienestar del hombre. Es así como a medida que el diseñador posee mayor información y herramientas que potencialicen su creatividad, se puede generar soluciones más acordes a una problemática o necesidad. A raíz del análisis, la observación y la experiencia los estudiantes pueden integrar la información para solucionar problemas con el desarrollo de productos innovadores de una forma novedosa y eficiente. En las últimas décadas en el diseño de producto se han explotado con gran éxito herramientas CAD (diseño asistido por computador), permitiendo que los nuevos desarrollos se puedan analizar en forma 3D digital en una pantalla de una computadora para poder visualizar las alternativas de solución y así tener una idea visual muy realista de los desarrollos propuestos. La metodología de diseño empleado herramientas CAD, se puede complementar con métodos de trabajo y visualización, que incrementen las herramientas para el diseño. De esta manera el poder hacer uso de tecnologías de inmersión y edición en tiempo real de los modelos, permite generar habilidades y metodologías de trabajo más adecuadas para el diseño creativo. La Pontificia Universidad Javeriana, ha desarrollado la primera sala tipo CAVE (Cave Assisted Virtual Environment) en el país. En este espacio de realidad virtual inmersiva en la que se puede colocar esos modelos virtuales en una escala real e interactiva, permite hacer comprobaciones en la cual el estudiante desarrollador puede verificar sus diseños analizando de manera eficiente y en tiempo real la funcionalidad, la estética y la calidad del producto, optimizando los recursos para el desarrollo de producto. En este artículo se presenta una evaluación del uso de este tipo de herramientas de virtualización e inmersión en los procesos para el desarrollo de competencias en el diseño y desarrollo de producto innovador. Para ellos se presenta una evaluación del uso de la herramienta CAVE en la clase de Innovación y Desarrollo de producto que se imparte desde la facultad de ingeniería a los programas de Ingeniería Industrial y Diseño

Industrial. A fin de lograr esta comparación, se han utilizados grupos de referencia utilizando metodología tradicional y otros grupos diferentes en los cuales se incluye el uso de la herramienta, para finalmente hacer un análisis del desempeño del sistema.

**Palabras clave:** CAVE; aprendizaje; virtualización

### **Abstract**

*In the process of learning skills and abilities for Product Design and Development, creativity arises from the student's interest in solving problems of a general nature for the welfare of man. If the designer has more information and tools that potentialize their creativity, can generate solutions according to a problem. From analysis, observation and experience, students can integrate information to solve problems with the development of innovative products in a new and efficient way. In the last decades in product design, CAD tools have been exploited with great success. It allows new developments to be analyzed in 3D digital form on a computer screen in order to visualize the solution alternatives and thus have a realistic solution for the proposed developments. The design methodology based on CAD tools, can be complemented with design and visualization methods, which increase the tools for design. Being able to use immersion technologies and real-time editing of the models, allows generating skills and work methodologies more suitable for creative design. The Pontificia Universidad Javeriana, has developed the first Cave Assisted Virtual Environment CAVE in the country. This immersive virtual reality space allows to place virtual models in a real and interactive scale. It also allows to make checks in which the student developer can verify their designs analyzing efficiently and in real time the functionality, aesthetics and quality of the product and optimizing the resources for product development. This article presents an evaluation of the use of this type of virtual and immersive spaces in the processes for the development of competences in the design of an innovative product. For them an evaluation of the use of the CAVE tool is presented in the Innovation and Product Development subject that is offer from the engineering school to the Industrial Engineering and Industrial Design programs. To achieve this comparison, reference groups have worked using traditional methodology and other different groups in which the use of the tool is included, to finally make an analysis.*

**Keywords:** CAVE; learning; virtualization

## **1. Introducción**

La realidad virtual VR es un escenario generado por computadora que simula una experiencia realista con la que se puede interactuar de una manera física o real por una persona (inmersión) usando un equipo electrónico especial, como un casco con una pantalla adentro o guantes equipados con sensores. Se ha basado principalmente en gráficos 3D interactivos, interfaces de usuario y Visual Simulation VS (representación gráfica de objetos y sistemas de interés utilizando lenguajes gráficos) para mostrar datos relevantes y análisis en espacios inmersivos. La VR, en general, es ampliamente utilizada en los campos de la educación y la formación debido a que su potencial estimula la interactividad y la motivación (Freina & Ott, 2015). Se han desarrollado

diferentes estudios sobre el uso de la realidad virtual y los sistemas inmersivos para evaluar el rendimiento de este tipo de sistema en un escenario de aprendizaje (Freina & Ott, 2015). (Tawadrous, Rojas, Kapralos, Hogue, & Dubrowski, 2017). Para la formación profesional dirigida a los trabajadores adultos (Freina & Ott, 2015), la RV ofrece la posibilidad de moverse con seguridad por lugares peligrosos, aprender a manejar las emociones mientras se experimentan las mejores soluciones, mientras se está lejos de los peligros reales (Freina & Ott, 2015) (Zyda, 2005). La principal motivación para el uso de la realidad virtual es que brinda la oportunidad de ser capacitados de manera realista en aquellas situaciones a las que no se puede acceder físicamente, causadas por limitaciones como el tiempo, la inaccesibilidad física, situaciones peligrosas, cuestiones éticas, entre otros (Tawadrous, Rojas, Kapralos, Hogue, & Dubrowski, 2017).

La realidad virtual inmersiva comprende la tecnología que le da al usuario la experiencia psicológica de encontrarse totalmente rodeado por un entorno generado por un computador. La inmersión a menudo se produce mediante la proyección tridimensional estéreo de secuencias de imágenes que simulan una escena en tiempo real (Andries Van Dam, 2000). En el mercado se encuentran principalmente dos tipos de tecnologías para inmersión en ambientes VR, los cascos de VR (Head Mounted Display) que son gafas o cascos que un usuario puede portar y que proyectan imágenes independientes para cada ojo, dando la opción de visualización estéreo. Por otra partes se encuentran las CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), que son espacios de gran volumen, donde se disponen diversos proyectores con capacidad estereográfica con múltiples direcciones, lo que permite la sensación de inmersión para una o varias personas trabajando simultáneamente (Arsalan Heydarian, 2015).

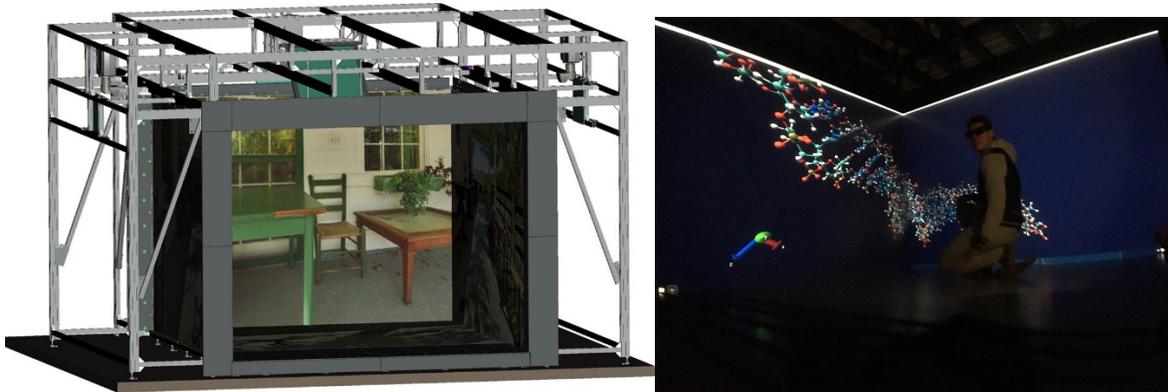
## 2. JaveCAVE

En 2017, la Pontificia Universidad Javeriana PUJ, a través del Centro Tecnológico de Automatización Industrial CTAI de la Facultad de Ingeniería y en colaboración con el Centro Ático, ha implementado una sala de virtualización inmersiva de la clase CAVE (Cave Automatic Virtual Environment) (Centro Tecnológico de Automatización Industrial CTAI, Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Javeriana, 2017). El CTAI tiene una amplia experiencia en el desarrollo de sistemas CAD / CAM y nuevas tecnologías centradas en la fabricación y la automatización. El Centro Ático, por su parte, tiene una amplia experiencia en las áreas de comunicación social, cine, música y artes visuales a través de más de 68 laboratorios especializados. La Pontificia Universidad Javeriana PUJ CAVE (JaveCAVE), liderada por el Centro Tecnológico de Automatización Industrial (CTAI) y ubicada en el Centro Ático, es una CAVE de cuatro caras ("S4"). Al igual que la mayoría de las CAVE, ofrece a los espectadores una experiencia envolvente para ver e interactuar con mundos de realidad virtual en 3D, pantallas de datos de gran formato y estereoscópicas y modelos 3D de ubicaciones y objetos del mundo real. Algunas de las características de la instalación incluyen:

- Un recinto de 3.2 m de ancho por 3.2 m de profundidad por 2 m de alto dentro del cual los espectadores pueden interactuar con un mundo virtual.
- Proyectores DLP de alto rendimiento con estéreo 3D activo

- Gafas 3D activas con sincronización DLP-Link para proyectores DLP listos para 3D
- Unos máximos de 20 espectadores pueden usar la CAVE de forma simultánea.
- Sistema Captura de Movimiento MOCAP
- Interfaz tipo joystick 6 DOF con dispositivo de realimentación háptico (en implementación)
- Control desde una sola computadora de procesamiento con capacidad para sistema operativos Windows y Linux con una CPU Intel y un motor de gráficos nVidia Quadro P5000

La Figura 1 muestra el JaveCAVE utilizado para este proyecto y PUJ.



*Figura 1: JaveCave. Sistema compuesto por pantallas de gran formato estereoscópicas que generan inmersión. Izquierda: modelo Barca S4 Cave(<https://www.barco.com/en/product/s4-cave>). Derecha: Sistema operativo en PUJ.*

### **3. Metodología de Diseño en las clases de Innovación**

El curso de innovación y desarrollo de producto, es un curso que busca generar las habilidades para la práctica del diseño y desarrollo conceptual de productos, buscando desarrollar en los estudiantes habilidades técnicas a través de ejercicios prácticos de diseño de conceptos innovadores que respondan y den solución a problemáticas específicas. Usualmente este curso se base en metodologías tradicionales en el aula de clase, complementado con un gran componente de diseño y construcción para la elaboración de prototipos finales funcionales. Esta metodología, que ya incluye el uso de herramientas de diseño computarizadas, como lo son los sistemas CAD y CAM, no siempre permite llegar a la solución óptima del proceso, dado que, durante el diseño, el estudiante no siempre logra identificar errores funcionales, estructurales o de operación que pueden afectar al sistema final.

El uso de herramientas de realidad virtual y de tipo inmersivo, permiten al alumno ir más allá de la fase del diseño, logrando que el alumno pueda interactuar con su modelo, manipularlo, desensamblar, editar y modificar en tiempo real, al igual que evaluar la mejora continua en este proceso. La inmersión y virtualización, también permite robar el modelo constructivo a una escala real, en la cual el usuario puede identificar mejoras de funcionalidad, diseño, ergonomía que pueden ser corregidos antes de llegar a la construcción de un prototipo operativo.

Es por esto que se decide hacer una evaluación comparativa de la influencia de la herramienta JaveCAD en la fase de concepción y diseño de un producto en la clase de Innovación y Desarrollo

de producto que se imparte en el programa de ingeniería Industrial. El objetivo primordial, es evaluar si la herramienta potencia la creatividad y el diseño por parte del usuario, al igual que si está permite hacer mejoras durante la fase de diseño y previo a la construcción de un prototipo funcional.

En segundo semestre académico de 2017 se inició con la evaluación de la herramienta. Para ello se realizaron las presentaciones de los proyectos de los estudiantes y se notó que este ejercicio podría ayudar para el desarrollo del producto, por lo cual, para el primer semestre de 2018 se trabajó con tres grupos de clase, cada uno con 35 estudiantes. Estos grupos de clase se repartieron en subgrupos de aproximadamente 8 Estudiantes de las carreras diseño Industrial e ingeniería Industrial. Para la elección de estos grupos los estudiantes realizaron sus hojas de vida y la presentaron a todo el grupo de clase, de esta manera conformaron ellos mismos sus grupos de trabajo de acuerdo a las fortalezas de cada Estudiante, con la finalidad de simular una empresa que desarrollaba un producto innovador, durante el proyecto realizado en la asignatura durante el semestre académico. Los temas de trabajo fueron asignados, de estos temas cada grupo seleccionó dos, las temáticas fueron: salud, transporte, mobiliario y productos para mascotas. Los proyectos se desarrollaron utilizando las mismas herramientas para el diseño (modelos CAD, pruebas de simulación con elementos finitos, modelos realizados en técnicas tradicionales y por impresión 3D) además, uno de los proyectos se realizó sin la utilización de la herramienta JaveCAVE y el otro con la utilización de la cueva, esto para tener un comparativo y verificar de qué manera influía la utilización de la cueva.

La Figura 2: Alumnos de la clase de Innovación y Desarrollo de Producto, haciendo la revisión de sus diseño en la sala JaveCAVE. En esta fase el alumno logra hacer mejoras en tiempo real de aspectos funcionales, ergonómicos y estéticos de su sistema, mejorando el proceso de diseño y disminuyendo las iteraciones necesarias para lograr un prototipo final. muestra algunos ejemplos de estos grupos de trabajo durante el proceso de visualización de sus diseños.



Figura 2: Alumnos de la clase de Innovación y Desarrollo de Producto, haciendo la revisión de sus diseño en la sala JaveCAVE. En esta fase el alumno logra hacer mejoras en tiempo real de aspectos funcionales, ergonómicos y estéticos de su sistema, mejorando el proceso de diseño y disminuyendo las iteraciones necesarias para lograr un prototipo final.

Durante las visitas a la JaveCAVE, los estudiantes emplean la tecnología de virtualización estereoscópica que permite visualizar los modelos en forma tridimensional. Esto sumado al ambiente envolvente de la CAVE (inmersión), permite a los alumnos visualizar su producto a una escala real y sentir que se encuentra en presencia del objeto. De esta forma el alumno puede evaluar aspectos del diseño no considerados previamente, tales como la funcionalidad, la ergonomía, el aspecto visual y estético entre otros. Esta evaluación sumada a que puede hacer modificaciones en tiempo real, permite que en esta fase del diseño se hagan mejoras significativas, previos al proceso de fabricación del prototipo final. Igualmente, al poder hacer estas mejoras directamente sobre el modelo, se reducen las iteraciones a fin de lograr un modelo final. Esto implica mejoras de tiempo, productividad y eficiencia en el equipo de diseño.

En las sesiones de trabajo de los grupos con la herramienta la CAVE se desarrollaba de la empleando la siguiente metodología. Inicialmente, los estudiantes presentan su proyecto formato 3D, en la sala y se colocaban a escala 1:1 o ampliada. A continuación, uno de los alumnos presenta el producto al grupo de compañeros, buscando hacer comprobaciones del funcionamiento, para ello se hacen los movimientos del modelo 3D mostrando las trayectorias, simulando los movimientos para su funcionamiento. Igualmente, se hacen comprobaciones del tamaño de la pieza, por ejemplo, en un desarrollo de un maletín tipo morral, uno de los estudiantes se colocaba frente a la pantalla donde está expuesto el producto, se simulan que se colocaba el morral en la espalda (Figura 3) y se hace con todo el grupo de compañeros una lluvia de ideas y realimentación sobre los aspectos positivos y posibles mejoras que se pueden hacer sobre el producto. Las conclusiones obtenidas de este proceso de análisis pueden ser modifican en tiempo real si son leve o utilizadas para una mejora al diseño de tal manera que para la siguiente sesión

de trabajo se hacen las correcciones y se vuelve a hacer una retroalimentación sobre el proyecto, generando un proceso iterativo.



Figura 3: Comprobaciones del modelo a escala real. Izquierda y centro, alumno simula operación de manubrio. Derecha Alumna simula uso de maletín tipo morral.

Por su parte los proyectos en los cuales no se hace uso la herramienta, se realiza una exposición con metodologías convencionales del aula de clase donde se puede hacer las simulaciones de movimientos y funcionalidad. Sin embargo, la simulación del tamaño y ergonomía prácticamente no se podía realizar su análisis al no tener la posibilidad de verlo en un prototipo 3D de apariencia real.

Algo que se nota en el desarrollo académico, es que, en la lluvia de ideas, que se hacía durante el uso del espacio inmersivo de la sala CAVE, es que hubo mayor número de ideas y se detectaban problemas anticipadamente con respecto a los que no tenían la herramienta de la cueva para el desarrollo.

#### 4. Resultados

En el desarrollo del trabajo, después de la entrega del anteproyecto a los grupos de trabajo, se les solicito los comentarios de las ventajas y las desventajas de los trabajos desarrollados en la herramienta la cueva y los Estudiantes manifestaron:

*“El uso de la sala la cueva permite una aproximación a la realidad, se observan los detalles para determinar las mejoras a realizar en el producto ayuda a determinar medidas, permite identificando aspectos positivos y negativos del proyecto, reduce costos evitando la construcción de prototipos físicos en las primeras etapas de diseño, permite interactuar más con los diseños realizado por los estudiantes, es bueno para realizar presentaciones de proyectos, así ayuda a entender de mejor los proyectos en desarrollo, en la parte profesional, facilita la visualización de los proyectos, ya que se pueden realizar reuniones con ingenieros y diseñadores para evaluar el producto antes de mandarlo a manufactura. es mucho más útil entre más complejo y detallado sea el producto”*

De estos comentarios, uno de los más generalizados era que se podían identificar errores y aciertos antes de hacer los prototipos en forma real, todos hablaron de las virtudes de la cueva sin tener comentarios del proyecto que no se desarrolló en la cueva.

En una menor proporción (5%), algunos alumnos manifiestan que, "aunque el uso de herramientas modernas es importante, no necesariamente la sala JaveCAVE es la más óptima, al poderse emplear otras tecnologías de realidad virtual inmersiva de menor coste". Sin embargo, aunque es cierto que existen otros tipos de tecnologías inmersivas más difundidas, como es el caso del Head Mounted Displays HDM, estas no permiten el trabajo colaborativo e interacción con otras personas dentro del mismo espacio, no siendo adecuadas para trabajo colaborativos de gran escala.

Al finalizar los proyectos, los grupos que pudieron emplear la herramienta la cueva para su desarrollo tuvieron leves mejorías en las calificaciones, siendo proyectos que terminaron siendo más adelantados y productivamente posibles en cuanto a su calificación final comparados con aquellos proyectos en los que no se ha empleado esta herramienta. Un comparativo de las calificaciones obtenidas por cada uno del grupo se presenta a continuación.

- Promedio de la clase 1 sin la cueva 4.1 con la cueva 4.3
- Promedio de la clase 1 sin la cueva 4.0 con la cueva 4.3
- Promedio de la clase 1 sin la cueva 4.1 con la cueva 4.2

Una vez finalizado el semestre académico y la realización del proyecto y sin el compromiso de la calificación de la asignatura, se procede a realizar una encuesta de percepción sobre el uso de la herramienta JavaCAVE a la población de alumnos que han tenido la oportunidad de trabajar con el sistema. Los resultados de esta encuestas se presentan en las figuras 4 a 9.

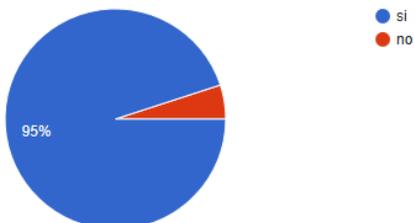


Figura 4: Considera usted que la sala la CAVE (de realidad virtual) ayudada al aprendizaje en para desarrollar proyectos de innovación y desarrollo

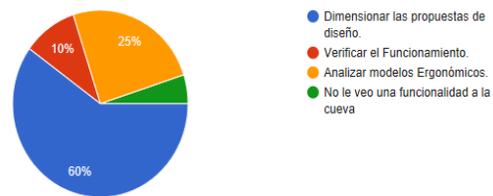


Figura 6: Considera que los modelos digitales vistos en la sala de realidad virtual (CAVE) ayudan a:

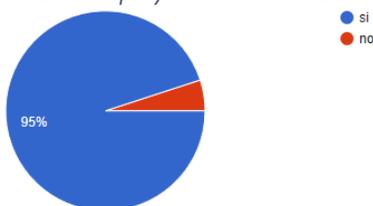


Figura 5: Considera que la sala de realidad virtual (Cueva) ayuda a comprobar las hipótesis antes de hacer los prototipos físicos

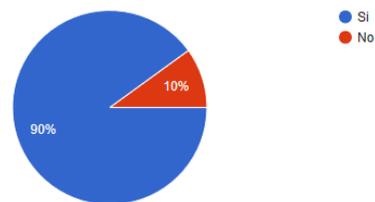


Figura 7: Considera que la sala de realidad virtual (CAVE) ayuda a detectar mejoras para el diseño.

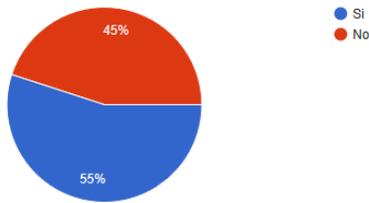


Figura 8: Considera que la sala de realidad virtual (CAVE) baja los costos en el desarrollo de un producto

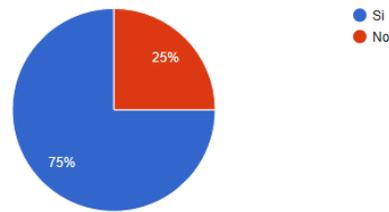


Figura 9: Cree que un proyecto realizado utilizando la sala de realidad virtual (CAVE) tiene mayor éxito que uno que no la emplee

## 5. Conclusiones

Este artículo presenta los resultados de la evaluación de la herramienta JaveCAVE de virtualización e inmersión en los procesos para el desarrollo de competencias en el diseño y desarrollo de producto innovador. Para ellos se presentó una evaluación del uso de la herramienta CAVE en la clase de Innovación y Desarrollo de producto que se imparte desde la facultad de ingeniería a los programas de Ingeniería Industrial y Diseño Industrial. De acuerdo a los resultados preliminares de esta evaluación, el estudiante logra potencializar las habilidades requeridas para el diseño de nuevos productos.

Dentro de los aportes observados tanto por los instructores como por los alumnos, la JaveCAVE permite principalmente a los alumnos dimensionar adecuadamente sus propuestas de diseño, pudiendo hacer una verificación más completa de la funcionalidad de su propuesta desde el punto de vista funcional y ergonómico al igual que detectar posibles mejoras al diseño en un proceso iterativo y eficiente.

La herramienta adiciona a las ventajas tácitas presentadas, se presenta como un elemento novedoso que potencializa las habilidades del profesor para la transmisión de conocimiento al igual que incentivar las habilidades de los alumnos. No solamente es de uso en clases de diseño y desarrollo de producto donde se busca formar habilidades de emprendimiento e innovación, sino que puede también es aplicable en otras asignaturas donde la visualización en interacción es fundamental para la comprensión de conceptos.

El trabajo futuro con esta herramienta busca que no solo sea empleada continuamente en esta asignatura de diseño e innovación, sino que sea extendida a otras asignaturas, proyectos de grado e investigación. Igualmente, la sala se encuentra en expansión integrando sistemas de interacción que den mayor flexibilidad al igual que potencien la sensación de inmersión en el espacio de trabajo.

## Referencias

- Freina, L., & Ott, M. (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. *Conference: Conference: eLearning and Software for Education (eLSE)*. Bucharest (Romania).

- CTAI, C. T. (6 de 6 de 2017). *Nueva sala CAVE*. (Centro Tecnológico de Automatización Industrial CTAI) Recuperado el 15 de 3 de 2018, de <http://www.javeriana.edu.co/blogs/ctai/2017/06/06/nueva-sala-cave/>
- Centro Tecnológico de Automatización Industrial CTAI, Facultad de Ingeniería Pontificia Universidad Javeriana. (1 de 6 de 2017). *Sala CAVE*. (CTAI) Recuperado el 18 de 1 de 218, de <http://www.javeriana.edu.co/blogs/ctai/2017/06/06/nueva-sala-cave/>
- Arsalan Heydarian, J. P.-G. (2015). Immersive virtual environments versus physical built environments: A benchmarking study for building design and user-built environment explorations. *Automation in Construction*, 54, 116-126.
- Tawadrous, M., Rojas, D., Kapralos, B., Hogue, A., & Dubrowski, A. (01 de 3 de 2017). The effects of stereoscopic 3D on knowledge retention within a serious gaming environment. *Multimedia Tools and Applications*, 76, 7301-7319. doi:10.1007/s11042-016-3394-2
- Andries Van Dam, A. S. (2000). Immersive vr for scienti. *A progress report. Computer Graphics and Applications, IEEE*, 20(6), 26-52.
- Kumar, S. H. (2011). Developing an Experienced-based Design Review Application for Healthcare Facilities using a 3D Game Engine. *Journal of Information Technology in Construction, Special Issue: Use of Gaming Technology in Architecture, Engineering and Construction*, 16, 81-103.
- Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *Computer*; doi: 10.1109/MC.2005.297, 38(9), 25-32.

## Sobre los autores

- **Álvaro E. Hilarión:** Diseñador Industrial con Maestrías en Mecatrónica y en Ingeniería Mecánica y Equipamiento Industrial. Docente e investigador universitario, con gran experiencia en diseño mecánico en el diseño y fabricación de maquinaria. Profesor de cátedra del departamento de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana y profesor de planta del Politécnico Gran Colombiano. [ahilarion@javeriana.edu.co](mailto:ahilarion@javeriana.edu.co)
- **Iván F. Mondragón B.:** Ingeniero Electricista, Master en Ingeniería Electrónica y de Computadores. Doctor en Robótica y Automática por la Universidad Politécnica de Madrid, España. Profesor Asociado Pontificia Universidad Javeriana. Director del Centro Tecnológico de Automatización Industrial CTAI. [imondragon@javeriana.edu.co](mailto:imondragon@javeriana.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)