

## Immersive Variations: Connecting Architectural Sensitivity with Parametric Design through Collaborative Virtual Reality Environments

Pablo Banda-Pérez<sup>1</sup>, Eduardo Valenzuela-Astudillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad del Bío-Bío, Chile  
[pablo.banda2001@alumnos.ubiobio.cl](mailto:pablo.banda2001@alumnos.ubiobio.cl)

<sup>2</sup> Universidad Técnica Federico Santa María, Chile  
[eduardo.valenzuelaa@usm.com](mailto:eduardo.valenzuelaa@usm.com)

**Abstract.** Undergraduate design studies for digital fabrication and non-standard architecture are complex as their participants are usually far from systems thinking and have a basic level of confidence in the use of advanced digital tools. Furthermore, in the face of high formal complexity, the understanding of the structural system and its effects for the inhabitant are not evident. This work presents an implementation of Virtual Reality to introduce Latin American architecture university students to digital fabrication and parametric design, taking as its main premise that during the initial design stage, the designed architecture using virtual reality techniques and spatial perception can engage students to appreciate the value in these new designs, formulating new arguments and paradigms to further contribute to their training as contemporary professionals.

**Keywords:** Virtual Reality, Digital Fabrication, Parametric Design, Architecture, Spatial Perception.

### 1 Introducción

Este trabajo introduce, evalúa y discute la producción de un método de evaluación empírica de proyectos de arquitectura desarrollados mediante fabricación digital, a través de herramientas de Realidad Virtual Inmersiva (en adelante RVI), creando Entornos Virtuales Inmersivos (en adelante EVI) que causan la sensación de presencia en un entorno informático al lograr “estimular y engañar los sentidos a los que se dirige”(Levis, 1997).

Diversas experiencias han demostrado que los EVI's son útiles para la percepción sensorial del espacio diseñado (Abdelhameed, 2014; Hernández et al., 2012). Considerando esta capacidad del sistema tecnológico, se plantea la posibilidad de desarrollar un sistema de evaluación de diseños desde la experiencia propia del usuario u habitante y la cualificación del espacio arquitectónico, instancia que podría traducirse en una oportunidad de reconocimiento de las relaciones paramétricas de los proyectos desarrollados; lo espacial, constructivo, material y fenomenológico, en el contexto del curso de Fabricación Digital de la Carrera de Arquitectura en la Universidad Finis Terrae, Chile.

### 1.1 Problema y Relevancia.

El curso de Fabricación Digital es una experiencia aislada en el transcurso del programa formativo curricular de la carrera de Arquitectura, que no llega a ser incorporada efectivamente por los estudiantes, en tanto a que lo que se enseña no tiene uso práctico en el continuo de su formación. El carácter computacional "algorítmico" y la complejidad formal de los resultados del curso, se alejan diametralmente a los modos de proyectar de los alumnos y de diseñadores en general, los cuales son más afines a modos más espontáneos de proceder (Roozenburg & Cross, 1991). Por lo anterior, actualmente son muy pocos quienes acarrean dichas técnicas a su ejercicio profesional definitivo (Herrera, 2012).

Este estudio y el consecuente método desarrollado, gatilla la apreciación de los espacios construidos en etapas tempranas de diseño, valorizando los parámetros que rigen la forma para determinar criterios de diseño y expresiones formales en consecuencia. Se consolida un *input* para un diseño informado desde la experiencia espacial en escala 1:1; la relación del cuerpo en el espacio. Resulta relevante, además, para el entendimiento del efecto de los parámetros en la propuesta estructural, generando una herramienta de inspección de conflictos entre técnica de fabricación digital y espacialidad objetivo, entendidos como restricciones o condicionantes de diseño (Alvarado et al., 2009).

La RV es un tema clave en la construcción 4.0, en cuanto a ser un puente comunicacional entre la construcción y modelos digitales integrados BIM, en donde se percibe el aporte en las capacidades de inspección y reducción de riesgos de faena (Forcael et al., 2020). Como tal, la inclusión de RV en la malla curricular de Arquitectura es un aporte a la formación de nuevos profesionales. Además, la expansión cognitiva hacia la maduración del manejo de cualidades arquitectónicas y materiales, condición sujeta comúnmente a la experiencia profesional prolongada, puede acelerarse con este tipo de tecnología y metodología.

## 1.2 Teorización

Se ha demostrado la eficacia de la visita guiada o viaje de estudio como método de enseñanza (Martínez-Pérez & Morales-Segura, 2018) en comparación a instancias ilustrativas de casos de estudio empleados en el aula, pues el estudiante tiene la oportunidad de entender la obra de manera experiencial y es capaz de apreciar, más allá del programa arquitectónico y la funcionalidad, sus cualidades espaciales en plenitud. No obstante, resulta evidente la dificultad que esto implica en términos económicos y logísticos (ibid.), no tan solo respecto a viajes, sino también al considerar el prototipo en escala real, que tanto aporta al entendimiento del material y su constructibilidad.

A raíz de esta dificultad, surge, inicialmente, la idea de explorar nuevas tecnologías con el objetivo de mejorar los resultados de aprendizaje de forma complementaria a lo ya implementado y desde nuevas perspectivas; el reconocimiento del espacio en un entorno tridimensional inmersivo digital, concepto próximo, homologable, a las mencionadas visitas, consideradas como referencia de buenas prácticas en la docencia. Todo esto de acuerdo con las posibilidades que entregan hoy en día el uso de herramientas y métodos de Realidad Virtual (Birt et al., 2019; Kreutzberg, 2014; Milovanovic et al., 2017), considerando avances sustantivos en grados de inmersividad o sensación de presencia y confort. Conocidos son los problemas de cinetosis asociado a esta tecnología, cuestión notablemente resuelta en la actualidad en modelos de gama media y alta, como los utilizados para este estudio.

Como lo señalan diversas investigaciones afines (Abdelhameed, 2014; Pan et al., 2006) en el campo del Diseño Asistido por Computador (CAD, Computer Aided Design) esta tecnología constituye una potente herramienta de enseñanza, a partir de la exploración de alternativas de configuración espacial. El desafío es cómo se integra en un método de aprendizaje activo que apropie a los estudiantes de los conocimientos impartidos, impactando en su concepción del espacio de diseño y permeando desde su formación a su ejercer profesional.

## 2 Metodología

### 2.1 Diseño de Experiencia Educativa

La experiencia se inserta en la estructura convencional de la asignatura de Fabricación Digital, como un módulo aplicado luego de un desarrollo de algoritmo orientado por el equipo docente y conducente al diseño de un refugio con alcances de forma y sistema constructivo. Este algoritmo incorpora parámetros que admiten, mediante la variación de sus valores (números o dimensiones), transformaciones espaciales y de componentes. Estos últimos,

en su conjunto, además de lograr erigir la obra, consolidan una textura superficial y la propuesta de vanos del diseño.

Este módulo aplica el diseño de la experiencia que busca poner a prueba las premisas de este estudio. Es una experiencia de carácter grupal, donde los estudiantes visitan virtualmente los modelos desarrollados y controlan iteraciones del diseño, de manera simultánea, pero alternando roles; usuario inmerso y usuario controlador.

Los usuarios controladores interactúan con los parámetros del algoritmo que define la geometría del proyecto desde una interfaz tradicional (no inmersiva), propia del software de modelado, valorizando estos parámetros con un sentido experiencial-espacial, vale decir, estableciendo cualidades que son definidas por parámetros concretos (magnitudes de dimensiones, cantidad de elementos, tipo de propagación, entre otros) y siempre desde una perspectiva de observación de un modelo tridimensional, condición similar a la observación de una maqueta física. Por su parte, el estudiante en rol de usuario inmerso es quien juzga, de acuerdo con sus sentidos, las cualidades que percibe de la espacialidad lograda con el modelo parametrizado y propuesto por sus compañeros. La evaluación de la obra involucra la navegación en el espacio virtual, alimentada con múltiples (potencialmente infinitos) puntos de vista, que involucran perspectiva y estereoscopia mediante un *Head-Mounted Display* (HMD), que permite percepción de profundidad y que otorga la sensación de presencia en el medio virtual, como símil del medio real en escala 1:1, complementada con controles de movimiento que registran la ubicación de las manos del usuario.

En la experiencia (Fig.1), es muy relevante la comunicación entre los actores involucrados, particularmente frente a la alternancia de roles. Considerando que involucra las veces de diseñador y habitante, esta experiencia educativa entrega perspectivas únicas sobre el diseño arquitectónico, consolidando una dinámica propia de un modelo de diseño participativo interactivo.

Por su parte, el equipo docente recauda información durante la actividad, ya que, como experiencia exploratoria, las variables se pesquisaron del análisis de esta información. Esta recaudación se produce en paralelo y con diversos medios:

Video:

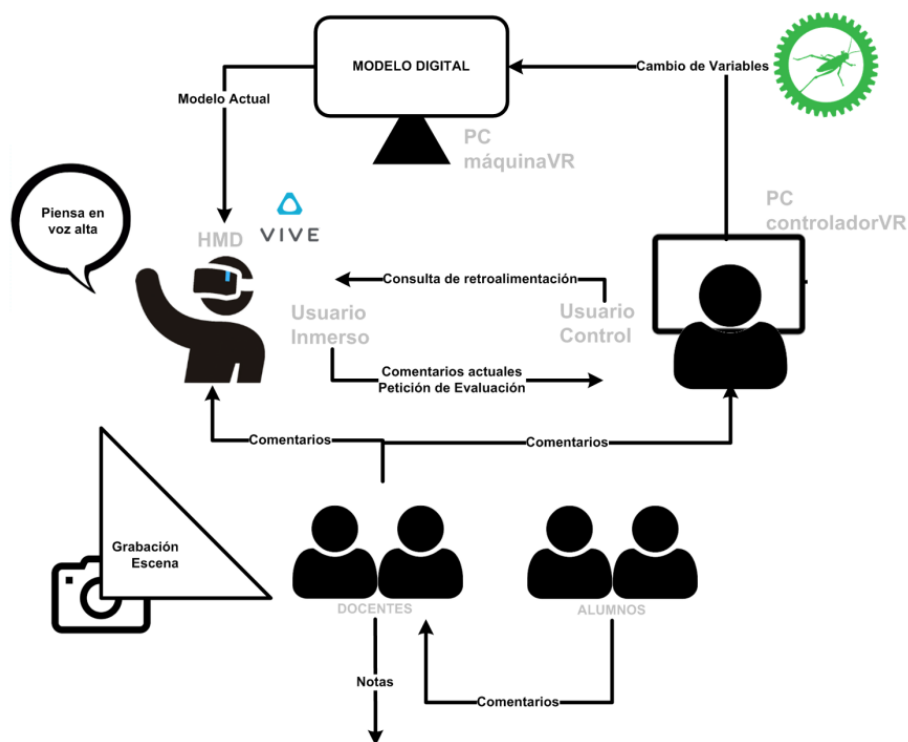
- Captura modelo digital: se graba la pantalla mientras sucede el experimento.
- Captura visualización RV: se graba lo que el alumno observa con el visor de realidad virtual.

- Captura de la situación del experimento: se graba la escena de experimentación, la que consiste en el espacio cercano a la pizarra del laboratorio de computación (5x2 m).

Audio y comentarios:

- Conversación entre usuarios controladores de modelo paramétrico y usuario inmerso.
- Conversación entre usuario inmerso y docentes.
- Conversación entre docentes y alumnos espectadores de la actividad.
- Comentarios del usuario inmerso, al que se le pide que “piense en voz alta”.

Además, se toman notas, para su uso complementario, de situaciones poco evidentes en los registros anteriores.



**Figura 1.** Esquema de experiencia. Fuente: Autores, 2021.

## **2.2 Implementación**

Se desarrolla una aplicación en el motor de videojuegos Unity 2019, en donde se implementa un sistema que permite la libre navegación en el EVI, haciendo uso de acciones (secuencias operativas en el sistema) de teletransportación, con lo cual, el usuario puede posicionarse y orientarse en el espacio virtual, libre de ataduras propias del medio real, como el tamaño del aula. La inmersión se ejecuta con visores de realidad virtual HTC VIVE.

El modelo paramétrico es desarrollado en el software Rhinoceros 6® con un algoritmo de Grasshopper®, para luego ser integrado a la aplicación de Unity mediante un código que recibe, reinterpreta y optimiza la geometría para construir el EVI, asignando materiales y mallas de colisión. La información geométrica se envía por internet o mediante una red local.

## **2.3 Evaluación**

La puesta a prueba de la experiencia diseñada se plantea desde una perspectiva experimental para evaluar la performance tecnológica en miras de determinar la viabilidad de integración del método a la asignatura. Con algunos pormenores en las conexiones de red, los recursos tecnológicos implementados operan correctamente y se cumple el objetivo de experimentar EVI's transformables mediante parámetros de un algoritmo desarrollado por los estudiantes. También se cumple a cabalidad la dinámica de interacción e intercambio de roles entre estudiantes.

Sumado al registro audiovisual se realizan encuestas a los estudiantes, donde expresan que el sistema resulta efectivo en comunicar las condiciones espaciales de las propuestas. También, señalan que la dinámica resulta ágil y que consideran contribuye a su formación.

# **3 Resultados**

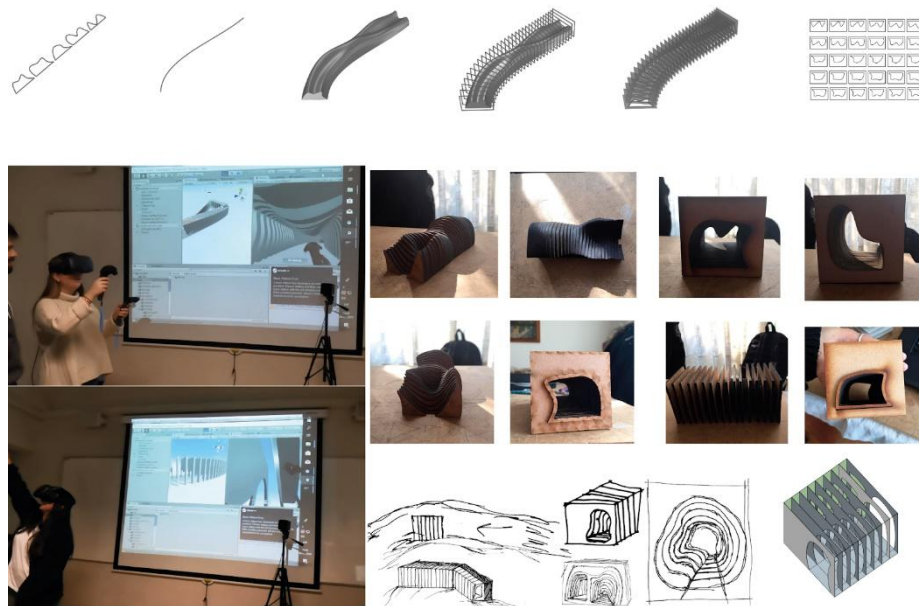
## **3.1 Proyectos**

### **3.1.1 Pabellón de Secciones Variables**

Este trabajo consistió en la creación de un vacío extendido a través de una curva considerando secciones variables (sweep). Estas secciones consideraron curvatura continua desde paramentos verticales hasta cielo (Fig. 2).

En cuanto a las interacciones entre integrantes del grupo, éstas tuvieron lugar tempranamente en la experiencia debido a lo relativamente simple de la propuesta, luego de un proceso de exploración que consistió en repetir el recorrido longitudinal. Una vez realizado esto en la etapa de reconocimiento y variación se probaron múltiples secciones en pos de experimentar sensaciones de opresión y extensión espacial, las cuales fueron editadas en sus puntos de control, variando en la zona de cielo y anchura. Una vez realizados estos cambios el grupo quiso variar la curva longitudinal, donde planteó que la curvatura era complementaria a la de las secciones, radicalizando la experimentación de fluidez, opresión- extensión.

A nivel material, entendieron además la relación conflictiva entre porte de elemento constructivo sección y curvatura exagerada en la longitudinal. La exploración no reportó grandes cambios en estrategias de fabricación, si no más bien cambios en el planeamiento de las secciones y estrategias de piso; que siempre fue horizontal y discontinuo con respecto a la continuidad entre paramentos verticales y cielo.



**Figura 2.** Pabellón de secciones variables. Fuente: Autores, 2021.

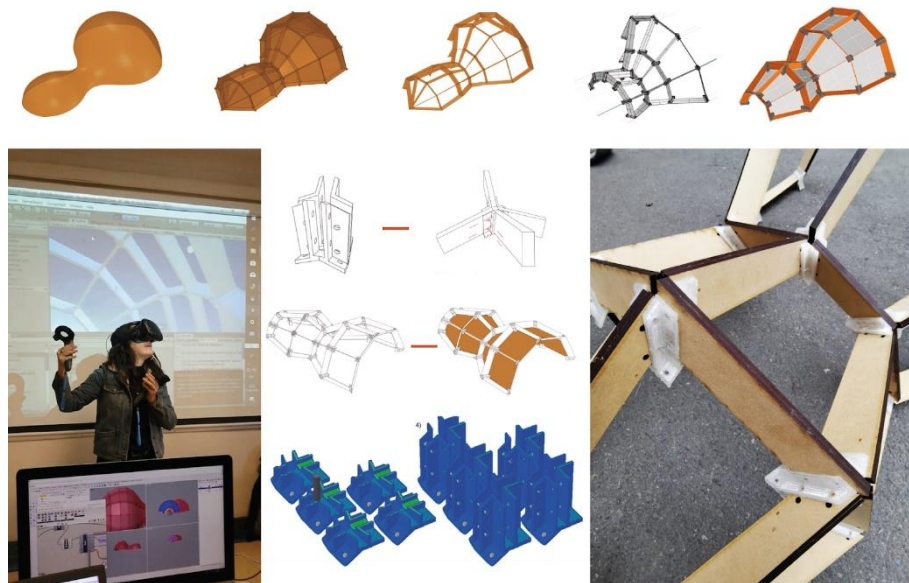


### 3.1.2 Propagación de Componentes Lineales y Juntas Impresas en 3D

La etapa de exploración paramétrica, en primera instancia, se plasmó en la estructura de la obra, luego y a medida los estudiantes consolidaron una propuesta estructural, se extendió hacia un recorrido transversal desde la entrada a la salida (Fig. 3).

En cuanto a las interacciones entre integrantes del grupo, estas se centraron en observaciones de índole material, reconociendo sobredimensión de la sección de los miembros de madera y observaciones con respecto a la llegada de la estructura al suelo. Se variaron además cantidades de elementos en las direcciones U y V. De esta interacción y con ayuda de la percepción y medición in situ en el EVI, se llegó a valores que los alumnos consideraron como idóneos para este diseño.

La exploración permitió afinar dimensiones de los miembros estructurales como también de las juntas impresas, las que fueron reforzadas para tener una relación más adecuada con respecto a los miembros de madera.



**Figura 3.** Propagación y juntas impresas en 3D. Fuente: Autores, 2021.



### 3.2 Hallazgos

De un número de 6 grupos de 2 a 3 integrantes cada uno, se pudieron sintetizar las siguientes etapas en la experimentación de los EVI's:

- Inmersión: Aprender a ubicarse espacialmente con esta nueva herramienta, empezar a navegar el proyecto.
- Exploración: Enfrentamiento y apreciación de la geometría y cualidades espaciales del proyecto.
- Reconocimiento: Luego de la exploración y a través del diálogo con sus compañeros de grupo, los alumnos entienden el origen de la forma en la que están inmersos y por ende los parámetros que la rigen.
- Variación: Luego de la etapa de reconocimiento los alumnos consensuan variaciones de los parámetros que rigen la forma y materialidad del proyecto para producir cambios en él.

En una primera etapa, las variaciones tendieron a contrastar la experiencia espacial de forma radical (ej. cambio desde amplitud a sensación de opresión), luego a exacerbar las características que se consideraban relevantes y coherentes con la argumentación del proyecto, buscando expresiones y efectos de la forma, evaluando restricciones de la propuesta estructural en tiempo real, hasta llegar a un punto de equilibrio, donde creemos que se puede considerar una nueva etapa de maduración. Surge un hito en el proceso proyectual, a partir del cual se consolida el resultante final, dando paso a afinar detalles menores y procesar la información para la fabricación digital. Sin embargo, es algo que todavía no logra ser evidente, pues requiere un muestreo mayor de estudiantes.

De forma general se puede aseverar que los alumnos pudieron vivenciar los espacios creados de forma cualitativa y con enfoque en detalles y diversidad dada por los parámetros en cuestión. De forma incipiente las siguientes dimensiones pudieron ser percibidas:

- Espacialidad: Mención de sensaciones espaciales; “siento el espacio”, “siento seguridad”, “la estructura se siente sólida”, “esta parte me oprime”, etc.
- Parametrización: Manipulación crítica de variables, viéndose cambios en la geometría de los componentes, subdivisiones, grosores, transformaciones de la forma global, etc.
- Complejidad Constructiva: Cambio en la cantidad de los elementos, énfasis en encuentro entre miembros estructurales y fundaciones.
- Colaboración Remota: Cambios de parámetros a tiempo real los cuales fueron consensuados y solicitados por los diversos actores involucrados.

## 4 Discusión

La experiencia muestra la potenciación del alumno en la percepción espacial y material de este tipo de diseño, dotando a los estudiantes de un medio experiencial en donde aproximarse a este tipo de arquitectura parametrizada, contribuyendo a un desarrollo proyectual informado y efectivo, que adquiera, al momento culmine de su instalación y puesta en funcionamiento, cualidades espaciales y fenomenológicas correctamente pronosticadas desde el diseño y para el cual no sea regente una resultante aleatoria o imprevista del modelo algorítmico, si no que una búsqueda consciente y controlada de condicionantes y cualidades.

Como investigación exploratoria se consideran de importancia las variables y categorías de análisis cualitativo del vínculo con el Diseño Paramétrico y su construcción, no obstante, se requiere de la implementación de un sistema más riguroso de captura de información. Se considera la implementación de análisis de protocolo (Eastman, 1969) donde los mapeos post-experimento podrán complejizar mayormente el entendimiento de los fenómenos espaciales percibidos y su repercusión en el proyecto de arquitectura digital. En este sentido, se necesita un mayor análisis bibliográfico en base a autores de estudios de diseño, como también verificar si es necesario o no acotar y/o estandarizar el proyecto mismo de fabricación digital para sensibilizar los hallazgos de la RV.

En algunos proyectos la complejidad de las piezas a fabricar dificulta la experimentación en cuanto a ralentizar la actualización paramétrica, por lo cual se consideró en otras exploraciones la simplificación de detalles de integridad constructiva, los cuales, si bien son necesarios para la fabricación digital, no son esenciales para la exploración. Otra temática crítica es la necesidad de indagar en la ambientación digital del experimento, ya que primeramente se utilizaron texturas estándar, las cuales, si bien son válidas para etapas tempranas, ponen en cuestionamiento por parte de los estudiantes la integridad material de la intervención vivenciada. Preliminarmente se plantea que debe haber un equilibrio en el uso de texturas e iluminación que no desvíe la atención a estos aspectos y que a la vez den la sensación de una materialidad adecuada.

Es todavía un tema incipiente y desarrollable en etapas venideras de esta investigación la relevancia de esta herramienta en el desarrollo del diseño digital como tal, viendo más allá de su potencial local en la asignatura, como elemento clave para el aprendizaje de la arquitectura dentro del paradigma de la construcción 4.0 (Forcael et al., 2020), en el cual actualmente se ve una ventaja en cuanto a la planificación de la construcción y la reducción de riesgos. Entendiendo que en el estado actual la construcción convencional está bastante atrasada en este aspecto, la implementación de RV como también de RA (realidad aumentada) en etapas tempranas puede cambiar los procesos creativos, orientándose desde el enfoque actual que es principalmente de

inspección, hasta una etapa media que sería la variación paramétrica, hasta entornos híbridos donde características generativas podrían acoplarse con intervenciones análogas, las cuales a su vez podrían ser retroalimentadas implementando un *back-end* robusto que incluya (tentativamente hablando), inteligencia artificial, *computer vision* y *machine learning*, entre otros.

En términos generales esta experiencia rescata el posible beneficio de la enseñanza de la arquitectura a través de los EVI's, ya que, si bien éste se realizó en semestres pre-pandemia de COVID-19, actualmente podría sortear la brecha material-presencial mientras la emergencia se soluciona.

Tipos y costes de equipos pueden ser factores limitantes para este tipo de implementación en cada uno de los hogares de los estudiantes o el laboratorios universitarios, no obstante, si la relevancia de la RV en la mayoría de los cursos de pregrado de arquitectura es transversal, las distintas escuelas podrían encontrar beneficiosa y factible dicha implementación, particularmente si se compara con otros medios de representación que apuesten por desarrollos a escala real.

**Agradecimientos.** Esta investigación fue realizada entre los años 2019 y 2020 gracias al Concurso Anual de Fomento a la Investigación CAI 2018, de la Universidad Finis Terrae, Chile.

## Referencias

- Abdelhameed, W. A. (2014). Creativity and VR use. *Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture - Proceedings of the 19th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2014*, 719–728.
- Alvarado, R., Lagos, R., Salcedo, P., Ramos, M., Labarca, C., & Bruscatto, U. (2009). Emociones precisas: fabricación digital en la enseñanza de la arquitectura. *Arquitectura Revista*, 5(2), 122–136. <https://doi.org/10.4013/arq.2009.52.06>
- Birt, J., Manyuru, P., & Nelson, J. (2019). Using virtual and augmented reality to study architectural lighting. *ASCILITE 2017 - Conference Proceedings - 34th International Conference of Innovation, Practice and Research in the Use of Educational Technologies in Tertiary Education, December*, 17–21.
- Eastman, C. (1969). Cognitive Process and Ill-Defined Problems: A Case Study from Design. *IJCAI*, 669–690.

Forcael, E., Ferrari, I., & Opazo-vega, A. (2020). *Construction 4.0: A Literature Review*.

Hernández, L., Taibo, J., Seoane, A., & Jaspe, A. (2012). La Percepción Del Espacio En La Visualización De Arquitectura Mediante Realidad Virtual Inmersiva. *EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 16(18). <https://doi.org/10.4995/ega.2011.1110>

Herrera, P. (2012). Patrones en la Enseñanza de la Programación en Arquitectura: De la Hetero- - Educación a la Auto- - Educación en Latinoamérica. *Proceedings of the 17th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*, 555–559.

Kreutzberg, A. (2014). New Virtual Reality for Architectural Investigations. *Fusion: Data Integration At Its Best*, Vol 2, 2, 253–260. [www.kadk.dk](http://www.kadk.dk)

Levis, D. (1997). ¿Qué es la realidad virtual? In <http://www.diegolevis.com.ar> (pp. 1–28). <http://www.diegolevis.com.ar>

Martínez-Pérez, I., & Morales-Segura, M. (2018). Recorridos interactivos de realidad aumentada como nueva herramienta multimedia en la enseñanza de asignaturas de Construcción Arquitectónica = Interactive augmented reality tours as a new multimedia tool in the teaching of Architectural Construction subjects. *Advances in Building Education*, 2(1), 31. <https://doi.org/10.20868/abe.2018.1.3692>

Milovanovic, J., Moreau, G., Siret, D., & Miguët, F. (2017). Virtual and Augmented Reality in Architectural Design and Education. *Gülen Çağdaş, Mine Özkar, Leman F. Gül and Ethem Güreç*, 1586746. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01586746><https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01586746/document>

Pan, Z., Cheok, A. D., Yang, H., Zhu, J., & Shi, J. (2006). Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers and Graphics (Pergamon)*, 30(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2005.10.004>

Roozenburg, N. F. M., & Cross, N. G. (1991). Models of the design process: integrating across the disciplines. *Design Studies*, 12(4), 215–220. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90034-T](https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90034-T)