

Aplicativo de realidad virtual inmersiva para el aprendizaje de la composición volumétrica en el diseño arquitectónico

Carlos Augusto Rengifo Espinosa ¹ | Esperanza Margarita Torres Cuadrado, Q.E.P.D. ² | Jesús Roberto Anaya Gonzalez ³ | Delma Esther Rocha Álvarez ⁴ | María Machado Penso ⁵ | Oton Alberto Navas De La Cruz ⁶

Recibido: 23-07-2020 | en su versión final: 22-01-2021

Resumen

En este documento se explica desempeño de una aplicación de realidad virtual inmersiva, de desarrollo propio (Crality 0.1), a los métodos de enseñanza de la composición arquitectónica, ayudando a que la educación afronte los retos que implica la enseñanza a las nuevas generaciones de estudiantes, al mismo tiempo permite que la creatividad como elemento fundamental en este proceso se potencie con el mínimo de obstáculos posibles. Se toma como marco teórico e indicadores sobre la creatividad los procesos de composición en el diseño arquitectónico y principios generadores de la forma. La evaluación se lleva cabo mediante el análisis de la forma de aprendizaje de la composición arquitectónica a través de la aplicación de realidad virtual comparada con un modelo de control manual de materialidad física. Los resultados condujeron a concluir la eficacia en el proceso de aprendizaje del acompañamiento de la realidad virtual, ya que reduce tiempos de ejecución, disminución del uso de material y una mayor afinidad con los procesos cognitivos de las nuevas generaciones.

Palabras clave: Procesos informáticos; mediación digital; volumetría; arquitectura

Citación

Rengifo, C. A. *et al.* (2021). Aplicativo de realidad virtual inmersiva para el aprendizaje de la composición volumétrica en el diseño arquitectónico. *ACE: Architecture, City and Environment*, 16(46), 9633. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.16.46.9633>

Immersive Virtual Reality Application for Volumetric Composition Learning in Architectural Design

Abstract

This paper explains the performance of a self-developed immersive virtual reality application (Crality 0.1) to the teaching methods of architectural composition, helping education to face the challenges of teaching new generations of students, while at the same time allowing creativity as a fundamental element in this process to be enhanced with the minimum possible obstacles. The theoretical framework and indicators of creativity are taken as a framework for the processes of composition in architectural design and the principles that generate form. The evaluation is carried out by analysing the way of learning architectural composition through the application of virtual reality compared to a manual control model of physical materiality. The results led to conclude the effectiveness in the learning process of the virtual reality accompaniment, since it reduces execution times, reduces the use of material and a greater affinity with the cognitive processes of the new generations.

Keywords: Computer processes; digital mediation; volume; architecture

¹ Arquitecto, Magíster en Arquitectura, Universidad de la Costa CUC (ORCID: [0000-0001-5881-6844](https://orcid.org/0000-0001-5881-6844)), ² Arquitecta, Magíster en Arquitectura, Universidad de la Costa CUC (ORCID: [0000-0003-4069-5890](https://orcid.org/0000-0003-4069-5890)), ³ Joven Investigador, Facultad de Arquitectura, Universidad del Atlántico, ⁴ Arquitectura-Computación-Educación, Magíster en Educación, Doctoranda en Ciencias de la Educación, Universidad del Atlántico (ORCID: [0000-0001-8592-2554](https://orcid.org/0000-0001-8592-2554), Scopus Author ID: [57201272730](https://orcid.org/57201272730)), ⁵ Arquitecta, Doctora en Arquitectura, Universidad de la Costa CUC (ORCID: [0000-0001-8727-3666](https://orcid.org/0000-0001-8727-3666), ResearcherID: [K-7948-2018](https://orcid.org/K-7948-2018), Scopus Author ID: [8453636500](https://orcid.org/8453636500)) ⁶ Arquitecto, Magíster en Educación, Universidad de la Costa CUC (ORCID: [0000-0002-5242-0694](https://orcid.org/0000-0002-5242-0694)). Correo electrónico: creginfo@cuc.edu.co

1. Introducción

La misión primordial de las facultades de arquitectura es formar profesionales a través de sus planes de estudio; los cuales establecen los objetivos, contenidos, logros y competencias en atención a las necesidades y demandas del país. Es conveniente mencionar que existen otras formas de generar conocimiento (Wagensberg, 2007), y es así como con el apoyo de las tecnologías de información y comunicación se pueden implementar metodologías (De Vasto, 2015; Meza y Cantarell, 2002; Belloch, 2012) que ayuden a ampliar la frontera que limita la imaginación del estudiante de manera sencilla y fácil.

Esta investigación busca evaluar la usabilidad de la aplicación de realidad virtual inmersiva como alternativa a los métodos de enseñanza tradicionales a través de simulaciones como acciones formativas, con el fin no sólo de enriquecer la utilización de dicho mundo sino el fortalecimiento de la actividad de aprendizaje con una metodología de aprender jugando, aprender haciendo y aprender construyendo. Es sabido que “a través modelos virtuales, es posible simplificar o abstraer la complejidad del mundo real y cuantificar y cambiar iterativamente sus características [...] para analizar e identificar los resultados preferidos” (Lewis et al, 2012: 87; Ervin, 1992; citados en Demir, Ergen, Ergen, & Çabuk, 2016, p.62).

En la actualidad, con ayuda de estas tecnologías desarrolladas con base a las plataformas de realidad virtual se intentan derribar las barreras que existen entre el mundo real y un mundo totalmente perceptivo e irreal, de modo que se pueda ofrecer un sinnúmero de posibilidades que permitan generar nuevas experiencias dentro del proceso de aprendizaje, permitiendo potencializar las competencias creativas y actitudinales de los estudiantes (De Vasto, 2015).

Los procesos de composición volumétrica tradicional a partir de los principios básicos de la composición se producen por la relación de figuras y volúmenes simples que en su relación conforman imágenes complejas (Ching, 2015; Dondis, 2017; Wong, 2011; Wong, 1999). Desde allí comienzan a evolucionar dentro de las etapas del diseño arquitectónico hasta concretarse en modelos reales donde es posible satisfacer las necesidades de los espacios habitables para los seres humanos. Igualmente lo acompaña lo estético, lo tecnológico y el proceso creativo. Es así como Acampa, Crepo-Cabillo, & Marino (2019), definen que “el proceso de diseño ha asumido, pues, una base de comunicación fundamentalmente centrada en la visualización, que ya no se presenta como una colección de imágenes estáticas sino como un recorrido continuo, que permite explorar desde el exterior al interior de cada componente y del proyecto completo” (p. 122).

Las tecnologías emergentes tienen un impacto positivo en la educación, no solo por sus aportes técnicos, sino también por la facilidad de uso. Asimismo, el Ministerio de Educación ha estado incentivando el uso de las TIC (Escorcía y de Triviño, 2015; Suarez et al, 2016) en todas las áreas del saber. La enseñanza a la nueva generación de estudiantes debe apoyarse en los avances tecnológicos, permitiendo al individuo desenvolverse con facilidad en un mundo donde los dispositivos electrónicos son parte fundamental del día a día. Según Arango Lozano C. (2019), en su libro *12 18 Centennials: Generación sin etiquetas* las nuevas generaciones no se emocionan con la enseñanza tradicional, lo que quiere decir que necesitan una educación diferente, que no excluya la tecnología, sino que por el contrario la vuelva una herramienta para la enseñanza.

En la presente investigación se pone a prueba la validez de la hipótesis que busca con la aplicación de una herramienta desarrollada a partir de las tecnologías de realidad virtual de inmersión (RI) a un grupo de estudiantes de arquitectura hacer más eficientes los medios y el tiempo de desarrollo de las composiciones volumétricas en las fases tempranas del diseño. Es así como por medio de observación directa y la aplicación de cuestionarios se diagnostica si esta herramienta tecnológica realmente estimula la creatividad de los estudiantes en la etapa temprana del proceso de diseño arquitectónico.

1.1 *La composición arquitectónica, el método desarrollista y la realidad virtual*

La Pedagogía Desarrollista (Sacker García, 2013) utilizada en el Programa de Arquitectura de la Universidad de la Costa, promueve el aprendizaje de la arquitectura mediante el aprender haciendo. Un aprender que agita la imaginación de los estudiantes a través de la exploración de distintas técnicas prácticas que, de manera paulatina van introduciendo al estudiante en el manejo de la proporción, la geometría, principios básicos de composición, la comprensión de las estrategias de debe asumir la arquitectura para su materialización en el contexto.

Incursionar en la realidad virtual, asumiendo estos temas, implica sumergirse en un mundo de generación de relaciones entre realidades tangibles e intangibles que se aplicarán a procesos materializados en la realidad habitada por los cuerpos. Es por ello, por lo que la aplicación de las herramientas virtuales utilizadas en el programa para la práctica de la composición, se hace a través de elementos geométricos básicos: plano, volumen (Ching, 2015) a los que se agrega el espacio vacío. En cuanto a la geometría, al utilizar una herramienta virtual que permite el acceso directo a los planos y volúmenes, puede haber un tránsito de la geometría hecha a partir de sólidos platónicos a conformar especies geométricas complejas dentro de la composición arquitectónica. Es así como, los principios compositivos de: equilibrio, ritmo, pauta y proporción se acercan a los sistemas que trabajan con procesos algorítmicos e iterativos derivados de protocolos de combinación entre los elementos básicos (Celani, 2009), reflejando así, formas de equilibrio, ritmo, pautas y proporciones cercanas a los procesos generativos de las formas arquitectónicas. En este sentido la significación de las formas viene dada por procesos estratégicos en la resolución de problemas desde las etapas tempranas del proceso compositivo.

Corresponde ahora mirar la composición desde la virtualidad para el desarrollo de proyectos arquitectónico a edificar en las ciudades latinoamericanas, cuya forma de conocer es mediante el hacer (Campas Montaner, 2019), acerca a los estudiantes a sus herramientas y modos de proceder cotidiano situándolos más cercanos a la resolución de problemas con medios conocidos. Es por ello que, al incursionar en la Pedagogía Desarrollista a través de este tipo de herramientas se hace necesario: "(...) mirar con nuevos ojos, implica el estar abiertos a las formas de la complejidad: a la fuerza de la incertidumbre, a lo inesperado de la intuición, al conformar ideas mediante complementos imprevistos, a fijarse en lo que siempre ha estado allí y no se ha descubierto, a abrir bien los ojos ante el velo que impone la realidad de acuerdo a sus preceptos preestablecidos, a ver las cosas desde distintas perspectivas, a establecer relaciones entre cosas y fenómenos impensados y a convertir el in-, el inter-, el con- el des- y el trans- en instrumentos para la formulación de experiencias." (Machado, 2013: pág. 10-31).

Creando un espacio cognitivo en donde se hagan explícitas las nociones de las perspectivas complejas manifiestas en la instrumentación de la enseñanza de la composición mediante estrategias digitales e inmersiones virtuales.

2. Metodología

La investigación es de carácter mixto; cualitativo y cuantitativo. Debido a su naturaleza (Herrera, 2017; Monje, 2011; Anguera, 1986) es necesario desarrollarla en varios niveles. El primero de ellos es el descriptivo, realizando análisis e interpretaciones de situaciones reales de las personas y su interacción con los elementos y experiencias para llevar a cabo el estudio. El segundo nivel es experimental porque el evaluador utiliza las herramientas y puede verificar lo que se cuestiona en los

instrumentos. Del mismo modo es una investigación aplicada, en él, uno de los dispuestos se confronta la teoría y realidad de forma abstracta, pero al mismo tiempo presente y real. De esta manera se constituye en una Investigación educativa, participativa y accesible a todos los profesionales de educación, especialmente los que están comprometidos con el área del diseño.

El diseño de la investigación es cuasiexperimental, estudiando un grupo de individuos ya establecidos; con ayuda de observación sistemática y periódica se revisarán los hechos reales en torno a los fenómenos que se puedan descubrir y se establecen las hipótesis con el fin de comprobar su validez con la aplicación del cuestionario a través de sus tres partes estructurales para la evaluación del desempeño del software.

El enfoque ha sido participativo, utilizando la colaboración de docentes y estudiantes que interactúan con la herramienta, a través del cual se derivará un proceso de reflexión y acción que permite el mejor desarrollo en la aplicabilidad de los instrumentos durante el tiempo de su aplicabilidad tanto en la sesión manual con materiales físicos como en la sesión manual virtual.

Es una investigación que se inscribe en educativo (Tedesco, 1986; Simón Medina, 2019) porque enseñará a pensar, pero también a la apropiación de lo tecnológico, por los instrumentos y herramientas que serán utilizadas para el desarrollo de este trabajo. Los principios básicos que definen la acción del procedimiento son conocer y comprender las posibilidades de la herramienta la etapa temprana del diseño como práctica permanente.

La población está dada por los estudiantes del programa de arquitectura de la Universidad De La Costa CUC, quienes están relacionados con los temas de la presente investigación. La Muestra es un grupo de 57 estudiantes del programa de Arquitectura de la Universidad de La Costa CUC que cursan quinto semestre, correspondiente a dos cursos de diseño, debido a que están directamente relacionados con el tema de la investigación, puesto que ya han adquirido el conocimiento necesario para llevar a cabo el ejercicio; excluyendo a los estudiantes pertenecientes al programa que cursan primer semestre. Este grupo de estudiantes se categoriza como grupo intacto, es decir, la muestra no ha sido escogida aleatoriamente, para ello se han tenido en cuenta las características antes mencionadas.

Las técnicas para la recolección de datos en la presente investigación es la observación, cuestionario, incorporación de realidad virtual de inmersión (RI), relacionadas con todas las áreas del saber de la arquitectura específicamente en el área del diseño. Cada uno de los estudiantes es evaluado mediante una ficha de observación que pretende medir cada una de las variables asociadas a la investigación. Una vez el estudiante finalice el ejercicio, llena una encuesta donde se califica la herramienta.

Los datos se tabulan con el fin de obtener datos exactos que permitan discutir los resultados y llegar a la conclusión de si respaldan o refutan la tesis propuesta dentro de la investigación.

Como mediación se pretende la aplicación del software de realidad virtual inmersiva Creality 0.1 (Figura 1) desarrollado en un entorno virtual inmersivo ingrávido con dos manos virtuales que simulan las del usuario, cuenta con un estante que contiene figuras geométricas primarias y compuestas, un ícono para guardado, botón ícono para borrado y con sonidos en correspondencia al sólido geométrico a seleccionar, además de música de fondo. El desplazamiento y rotación de los elementos es libre. El desarrollo de este software se llevó a cabo mediante el motor de desarrollo Unity V 2019.2.4, utilizando las interfaces de control de Leap Motion: core, Hands Module e Interaction Engine, para la visualización se utiliza el hardware Oculus Rift DK2.

Figura 1. Vista general aplicación Creality 0.1

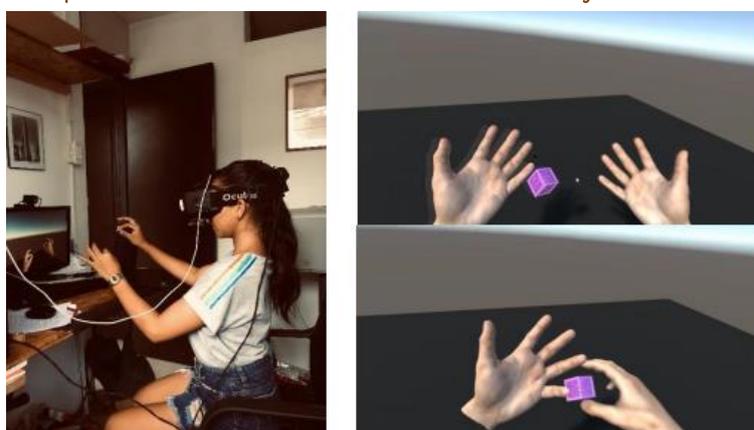


Fuente: elaboración propia.

La herramienta de mediación, Creality 0.1 está dada por un dispositivo desarrollado bajo los principios de realidad virtual de inmersión (RI) y sensores hápticos, permitiendo que el estudiante pueda diseñar una composición volumétrica, manipulando cada uno de los elementos (volúmenes) de acuerdo a su propuesta. En este sentido, el estudiante puede: crear volúmenes, cambiar su escala, fusionar varios elementos, desplazar los mismos en cualquier dirección, rotarlos y ubicarlos en cualquier lugar del espacio tridimensional ofrecido por la interfaz.

El procedimiento para diagnosticar el uso de la aplicación se hizo a través de 57 estudiante de edades comprendidas entre los 18 y 27 años, los cuales se dividieron en tres grupos. Estos estudiantes realizaron un ejercicio libre de composición primero de manera manual con materiales físicos y luego se les pedía que hicieran otro ejercicio dentro del software, es decir una experimentación manual con medios virtuales. Siendo el modelo de control la realización manual. Ambas experimentaciones se realizaron en salones de la Universidad de Costa, el primero se realizó en un salón equipado con mesas para la realización de modelos físicos y el segundo en los laboratorios con ordenadores con las características requeridas por el software. En ambos casos se dio para el tiempo de realización 45 minutos, que corresponde a una del Taller de Diseño. Para el desarrollo del experimento fue fundamental dar a conocer a los estudiantes escogidos, los conocimientos para el manejo de la herramienta, así como los ejercicios desarrollados una vez llevado a cabo las dos experimentaciones. Ambos experimentos se realizaron solo una vez en los cuales se realizaron procedimientos de observación y registro (Figura 2).

Figura 2. Experimentación manual con materiales físicos y con medios virtuales



Fuente: elaboración propia.

Inmediatamente, luego de haber terminado la experimentación se enviaron a cada uno de los participantes vía WhatsApp el vínculo de un formulario generado a través de la aplicación Forma de Outlook. Las preguntas del cuestionario fueron cerradas y todas con el mismo peso para la evaluación. En dicho cuestionario se desplegaron un total de 28 preguntas agrupadas en cuatro partes: la primera corresponde a datos personales, la segunda a la variable de Integración de Realidad Virtual Inmersiva en la Etapa Temprana (variable operacional independiente), la tercera a la variable de Creatividad (variable operacional dependiente) y la cuarta a la variable que considera la etapa temprana del diseño (variable operacional dependiente). La elaboración del cuestionario con la experimentación desarrollada está orientadas a integrar los procesos cognitivos de los grupos a evaluar desde el método Desarrollista (Sacker García, 2013) como estrategia de aprendizaje. Desde estos procedimientos se expresan los resultados medidos a través de los indicadores desglosados de las tres variables.

3. Variables operacionales

Son tres las variables operaciones que se desarrollan en esta investigación para la evaluación de Creality 0.1 como herramienta que estimula la creatividad de los estudiantes en la etapa temprana del proceso de diseño arquitectónico. Es así como la variable de la Integración de Realidad Virtual Inmersiva en la Etapa Temprana pretende familiarizarse con la herramienta que le permitirá a través del uso de la RI la concepción de su idea creadora respecto a la variable Creatividad busca la sensibilidad del estudiante a un problema planteado que lo lleva a identificar dificultades, especular y modificar para llegar a un resultado compositivo, y se busca con la variable Etapa Temprana del Diseño la síntesis de la composición que permitirá tomar las decisiones generales de lo que será el proyecto arquitectónico.

Para llegar a cada uno de los indicadores las variables se estructuraron a partir de dimensiones que subdividen cada variable y conducen hacia el indicador que es lo que se ha medido directamente con el cuestionario. En el caso de la integración del participante con la realidad virtual se dimensionó en base a las características técnicas, procesuales y actitudinales que determinan la relación del participante con las tecnologías de información. Para la variable de creatividad se caracterizó en base a seis dimensiones clave para el proceso de producción creativa que se desencadena en el participante a través de la enunciación de un problema (Guilford, 1959; Santaella, 2006). Con respecto a la variable de la etapa temprana del diseño se consideraron los principios de composición definidos principalmente por Ching (2015).

La utilización de dos tipos de variable (Independiente y Dependiente) (Tabla 1 y 2) permite una valoración mediante la observación, analizando la forma y fundamento de las composiciones volumétricas realizadas por los estudiantes.

Tabla 1. Variable operacional independiente

	Variable	Dimensión	Indicador
INDEPENDIENTE	Integración de la realidad virtual inmersiva (RI) en la etapa temprana del diseño arquitectónico. (Con esta variable se pretende familiarizarse con la herramienta, que permitirá a través del uso de la RI, la concepción de su idea creadora).	Técnica	Facilidad de uso de la herramienta
			Apropiación de la herramienta
			Conocimientos previos
		Metodológica	Proceso de creación
			Conciencia de las formas
			Composición resultante
		Actitud	Uso de la herramienta
Desarrollo del ejercicio			

Fuente: Elaboración propia autores.

Tabla 2. Variables operacionales dependientes

	Variable	Dimensión	Indicador
DEPENDIENTE	Creatividad (Vindas, 1999) (Busca la sensibilidad del estudiante a un problema planteado que lo lleva a identificar dificultades, especular y modificar para llegar a un resultado compositivo)	Fluidez	Asociatividad
			Ideactividad
			Expresión
		Flexibilidad	Espontaneidad
			Perseveración
			Adaptabilidad
		Originalidad	Estadística
			Acciones remotas Calidad de respuestas
		Motivación y curiosidad	Curiosidad
	Elaboración	Preparación de la idea	
	Sensibilidad a los problemas	Identificación de problemas	
		Solución de los problemas	
	Etapa Temprana del Diseño (Ching, 2015) (La síntesis de la composición que permitirá tomar las decisiones generales de lo que será el proyecto arquitectónico)	Ejes compositivos o perceptuales	Trama generatriz
		Organización y significado de la forma	Exigencia simbólica
		Transformaciones de la forma	Formas genéricas y específicas
		Articulaciones de la forma	Espacios conectores, conectados, complementarios y anexos
		Proporcionalidades de la forma	Proporción escala y modulo
Motivación y curiosidad		Curiosidad	
Elaboración		Preparación de la idea	

Fuente: Elaboración propia autores.

3.1. Variable Integración de Realidad Virtual de Inmersión (RI) en la Etapa Temprana de Diseño

- *Dimensión: técnica*

A continuación, se muestran los datos relacionados con la dimensión: Técnico, de la variable independiente: Integración de Realidad Virtual de Inmersión (RVI) En La Etapa Temprana De Diseño (Tabla 3).

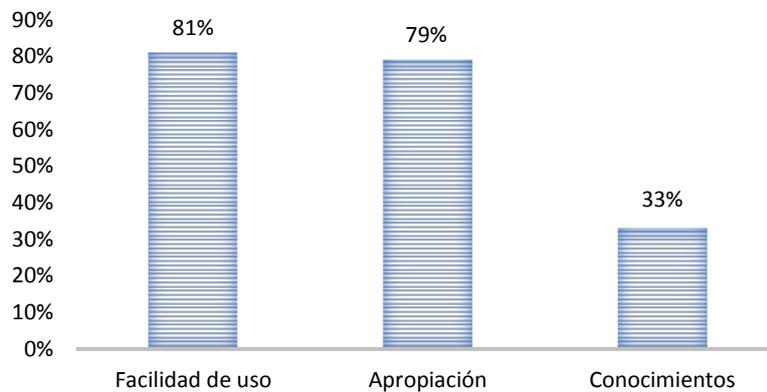
Tabla 3. Resultados dimensión técnica – Variable Integración

Indicador	Mayor puntaje	Puntaje promedio	Menor puntaje
Facilidad de uso	5	4.08	1
Apropiación	5	3.93	2
Conocimientos	3	1.64	1

Fuente: Ficha de observación y cuestionario - autores.

El tercer indicador, conocimientos previos sobre realidad virtual, obtuvo una calificación en promedio de 1.64 de los 5 puntos posibles, traducido en un 33% de conocimientos previos. Este indicador demuestra que al ser nativos digitales son operarios de la tecnología, sin embargo, no tienen el conocimiento teórico sobre el tema en el que se mueven cotidianamente. Evidenciando que esto constituye un conocimiento cotidiano que debe fundamentarse en el aula (Figura 3).

Figura 3. Clasificación de valoración según porcentajes



Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.

- *Dimensión: metodología*

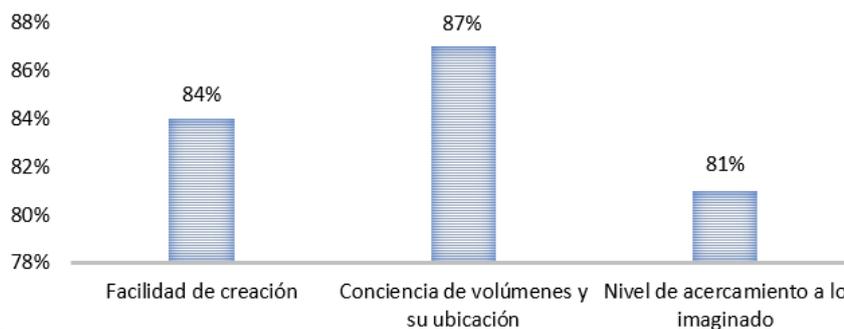
En este apartado se relacionan los datos obtenidos de la dimensión: Técnica, de la variable independiente: Integración de Realidad Virtual de Inmersión (RVI) en la Etapa Temprana de Diseño (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados dimensión metodología – Variable Integración

Indicador	Mayor puntaje	Puntaje promedio	Menor puntaje
Facilidad de creación	5	4.22	3
Conciencia de volúmenes y su ubicación	5	4.33	3
Nivel de acercamiento a lo imaginado	5	4.04	2

Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.

Figura 4. Clasificación de valoración según porcentajes



Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.

La tabulación de los datos obtenidos por medio de las fichas de observación y cuestionarios permitió identificar los desempeños en cada uno de los indicadores, de los cuales se muestra el puntaje más alto, el más bajo y la calificación promedio de todo el grupo, así como el porcentaje en cada indicador.

El indicador Facilidad De Creación De La Composición presenta una calificación promedio de 4.22 puntos de los 5 posibles y un porcentaje del 84%; el puntaje más alto y bajo son 5 y 3, respectivamente. La creación desde la realidad virtual modelada en un entorno tridimensional es

cónsona, ya que lo digital es parte esencial de su mundo y mediante esta herramienta puede agilizarse su manera natural de aprender, la intuitiva (Ovelar Beltrán, Benito Gómez, & Romo Uriarte, 2008), ya que es una herramienta que puede devenir su proceder como un proceso algorítmico en el que los elementos están disponibles y el estudiante solo tiene que generar una estrategia, como si de un video juego se tratase (Torre, 2009).

El segundo indicador, Conciencia De Los Volúmenes y su Ubicación Espacial, obtuvo una calificación en promedio de 4.33 de 5 puntos y un porcentaje del 87% (Figura 4). La calificación más alta es 5 y la más baja 3. Este valor se debe a que los participantes del experimento al ser nativos digitales, su aprendizaje intuitivo es dado a través de medios audiovisuales, mediante videos, videojuegos, imágenes (Gráfico 2). Un aprendizaje fundamentalmente gráfico alegórico de la realidad en la que se inscriben (Ramón, y otros, 2014). Es por ello por lo que la manipulación volumétrica y su posicionamiento espacial, hacen favorable la utilización de la herramienta

En el tercer indicador, Nivel de acercamiento a la Composición Imaginada, la calificación promedio es de 4.04 sobre 5 puntos, el porcentaje obtenido es de 81% (Gráfico 2); la prueba con mejor puntaje obtuvo una calificación de 5 puntos y la de menor puntaje obtuvo 2 puntos. Es un índice que define una cercanía muy alta, ya que se trabajan desde las coordenadas representativas de la experiencia real del participante (Torre, 2009).

- *Dimensión: Actitud*

Se muestra la información recopilada de la dimensión Actitud de la variable independiente Integración De Realidad Virtual de Inmersión (RI) En La Etapa Temprana De Diseño (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados dimensión Actitud – Variable Integración

Indicador	Mayor puntaje	Puntaje promedio	Menor puntaje	Porcentaje promedio
Frente a la herramienta	5	4.71	3	94.2 %
Frente al ejercicio	5	4.30	3	86 %

Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.

En el indicador donde se medía la actitud de los estudiantes frente a la herramienta se obtuvo una calificación promedio de 4.71 puntos de los 5 posibles, expresado en un porcentaje de 94.2%. El segundo indicador que mide la actitud frente al ejercicio obtuvo una calificación de 4.30 de 5 puntos y un porcentaje del 86%. Estos altos porcentajes corroboran lo planteado por la Sociedad Internacional para Tecnología y Educación (ISTE, 2007) para los Estados Unidos, en la cual destacaba una actitud positiva ante el uso de herramientas digitales para el proceso de aprendizaje.

3.2. Variable Creatividad

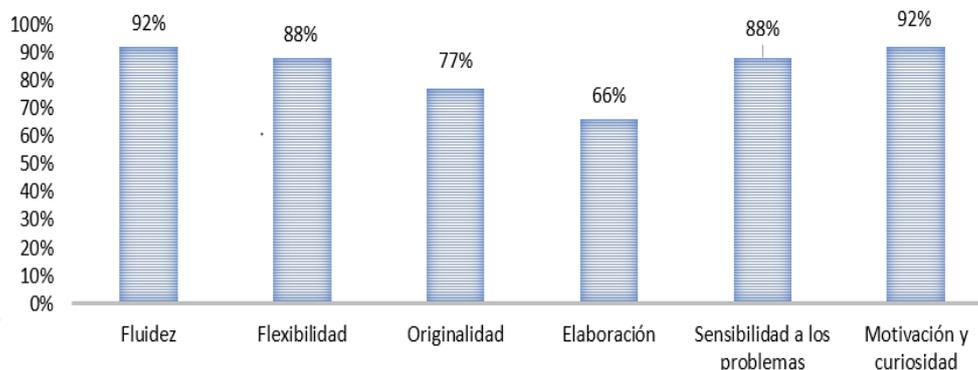
A continuación, se muestran los datos promedio de cada una de las dimensiones de la variable dependiente: creatividad (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados Variable creatividad

Indicador	Mayor puntaje	Puntaje promedio	Menor puntaje
Fluidez	5	4.61	4
Flexibilidad	5	4.42	3
Originalidad	5	3.85	2
Elaboración	5	3.31	2
Sensibilidad a los problemas	5	4.50	4
Motivación y curiosidad	5	4.49	3

Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.

Figura 5. Clasificación de valoración según porcentajes



Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.

La tabulación de los datos obtenidos permite calcular los puntajes promedio de cada una de las dimensiones de la variable dependiente Creatividad, del mismo modo la obtención del puntaje global y su porcentaje.

La dimensión Fluidez obtiene una calificación promedio de 4.61 puntos y un porcentaje de 92%, es decir, un porcentaje Muy Alto. La dimensión Flexibilidad obtiene una calificación promedio de 4.42 y un porcentaje de 88 % en promedio, ubicado en el rango de clasificación por porcentaje Muy Alto. La alta proporción en ambos indicadores es producto de la relación cotidiana con la percepción de una realidad ().

La dimensión Originalidad obtuvo una calificación promedio de 3.85 y un porcentaje de 77 % (Figura 5) y se ubica en la categoría de porcentaje Alto. Si bien el porcentaje fue alto, este indicador obtuvo una puntuación menor que el de la fluidez y flexibilidad, el cual debe reforzarse con una inmersión de los estudiantes en una revisión de referentes de arquitecturas contemporáneas que utilizan de manera diversa las tecnologías digitales como los proyectos presentados por el SCiArc (Southern California Institute of Architecture), el IAAC (Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña) entre otras instituciones alrededor del mundo.

La dimensión elaboración obtuvo un promedio de 66 %, es decir 3.31 puntos y una clasificación en la categoría Alto. Un porcentaje ligeramente alto que puede implicar ajustar aún más las posibilidades de complejidad prestas para este tipo de herramientas.

La dimensión Sensibilidad a los Problemas obtuvo una calificación de 4.50 y un porcentaje de 90% (Figura 5). Se ubica dentro de la categoría Muy Alto en el rango de clasificación por porcentaje. El valor de este indicador refleja la experiencia del participante dentro de un mundo conocido y su aptitud y capacidad de resolver problemas desde esta forma de realidad. Esto significa inmersión en su propia cotidianidad, pero ahora de manera creativa.

La dimensión Curiosidad y Motivación obtuvo el 92 % de los puntos posibles, con una calificación de 4.49 puntos. Su clasificación de porcentaje es Muy Alto.

Dentro de la variable dependiente Creatividad, la sumatoria de los puntajes promedio de cada una de las dimensiones logró obtener 25.17 puntos, es decir el 83.9 % del total de los 30 puntos posibles (Figura 5), lo que quiere decir que en términos generales está clasificado como un desempeño Muy Alto. Este resultado avala desde la sinergia de las dimensiones que no hay una condición intermedia

entre la creatividad y la expresión, ay que se realiza mediante un lenguaje cotidiano para los nativos digitales, fuera de las restricciones que ofrece la representación cartesiana.

Según (Cerde, 2006), dentro de la creatividad existen algunos indicadores que pueden corroborar la presencia de esta: originalidad, fluidez, flexibilidad, elaboración, solución a problemas, curiosidad y motivación. Por lo tanto, se infiere que al obtener en general altos porcentajes de cada uno de estos elementos y determinar que si hay presencia de ellos dentro de los procesos creativos de los estudiantes que realizaron el ejercicio, y teniendo un porcentaje general del 83.9% de los puntos posibles (Figura 5), se ratifica la presencia de Creatividad en los estudiantes que sirvieron de muestra ya que el porcentaje promedio se encuentra dentro del rango Muy Alto (81% 100%).

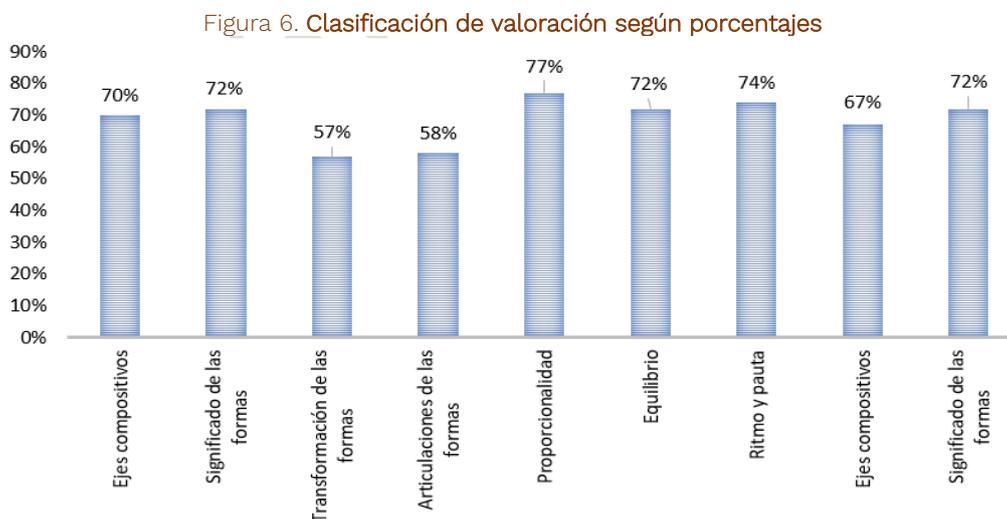
3.3. Variable Etapa Temprana del Diseño

En el siguiente apartado se muestran los datos promedio de cada una de las dimensiones de la variable dependiente: Etapa Temprana del Diseño (Tabla 7).

Tabla 7. Resultados promedios variable Etapa Temprana del Diseño

Indicador	Mayor puntaje	Puntaje promedio	Menor puntaje
Ejes compositivos	5	3.35	2
Significado de las formas	5	3.61	1
Transformación de las formas	5	2.84	1
Articulaciones de las formas	5	2.92	1
Proporcionalidad	5	3.87	2
Equilibrio	5	3.59	1
Ritmo y pauta	5	3.7	1
Ejes compositivos	5	3.35	2

Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.



Fuente: Ficha de observación y cuestionario. Elaboración propia de los autores.

La dimensión Ejes Compositivos obtiene una calificación promedio de 3.35 y un porcentaje de 70 % en promedio (Figura 6), ubicado en el rango de clasificación por porcentaje Alto. Si bien este es un porcentaje alto, se comprende la distancia del 30% respecto al 100% debido a la libertad de manipulación que ofrece trabajar desde la realidad virtual con elementos de libre movilidad y que no necesariamente se acerquen a los ejes compositivos clásicos que devienen de una forma de representación cartesiana. En este sentido esta forma de aprendizaje se acerca más a las formas generativas de diseñar la arquitectura.

La dimensión Significado de las formas obtiene una calificación promedio de 3.61 puntos y un porcentaje de 72%, es decir, un porcentaje Alto (Figura 6). Esto refleja que la mayoría de los casos le encuentra un valor simbólico a lo expresado en el producto del ejercicio, sin embargo la diferencia del 28 % remite a una condición que se acerca a los procesos de generación arquitectónica, ya que “la cuestión no está en «qué generar», sino en «como generar» que se incluyan [en el aprendizaje] temas teóricos como sistemas e, auto- organización, gramáticas generativas, generación algorítmica, diseño evolucionario y diseño paramétrico-emergente” (Celani, 2009).

La dimensión Transformaciones de las Formas obtuvo el 58.6 % de los puntos posibles (Figura 6), con una calificación de 2.84 puntos. Su clasificación de porcentaje Medio, este resultado está dado por la limitación del software que no permite hacer este tipo de transformaciones.

La dimensión Articulaciones de las Formas obtuvo una calificación promedio de 2.92 y un porcentaje de 58.4 % y se ubica en la categoría de porcentaje Medio.

La dimensión Proporcionalidad obtuvo un promedio de 77.4 %, es decir 3.87 puntos y una clasificación en la categoría alto (Figura 6). Este porcentaje asoma que los participantes correlacionan directamente dentro de la virtualidad la escala que manejan en la realidad tangible, lo que evidencia estar en una realidad que también le es cotidiana.

La dimensión Equilibrio obtuvo una calificación de 3.59, es decir, 71.8 % del puntaje (Figura 6). Un alto valor mostrando su apego a las condiciones equilibradas que pueden provenir o de la proyección cartesiana o del diseño generativo.

La dimensión Sensibilidad a los Problemas obtuvo una calificación de 3.7 y un porcentaje de 74%. Se ubica dentro de la categoría Muy Alto en el rango de clasificación por porcentaje. Este valor demuestra el manejo compositivo dentro de las dimensiones de una realidad conocida.

La variable dependiente Etapa Temprana del Diseño, alcanzó un puntaje de 23.88 puntos de 35 posibles, es decir el 68.2 %, porcentaje ubicado dentro del rango Alto (61% - 80%). Este alto valor muestra la pertinencia de la herramienta en la etapa temprana de la composición arquitectónica (Gráfico 4)

Según Beltran (2011), el concepto del diseño se basa en elementos importantes, dentro de ellos están los principios ordenadores, dentro de los cuales se encuentran: Ejes Compositivos, Significado de las Formas, Transformación Formas, Articulación Formas, Proporcionalidad, Equilibrio y Ritmo y pauta. Basado en lo anterior, y teniendo en cuenta los porcentajes de cada una de las dimensiones de la variable Etapa Temprana del Diseño, así como el porcentaje de desempeño de la muestra que fue 68%, ubicado en el rango Alto (61% - 80%) se puede inferir que en las composiciones de los estudiantes que realizaron el ejercicio se evidencia el uso de estos elementos que son de suma importancia en la conceptualización del diseño.

4. Conclusiones

El aporte fundamental de esta investigación es una alternativa pedagógica que permite tanto al estudiante como al profesor, tener una experiencia distinta de la enseñanza de la composición arquitectónica que se inscribe en una práctica analógica y material, mientras que se realiza la enseñanza de temas relacionados con la conceptualización del diseño. Con la utilización de esta herramienta se está introduciendo en el currículo del Programa de Arquitectura de la universidad de la Costa otra

herramienta que amplía las posibilidades de abordajes en los modos de elaborar composiciones en las etapas tempranas del Diseño arquitectónico, del mismo modo ofrece a las nuevas generaciones una educación que integra la tecnología y la usa como medio para aumentar el interés de los estudiantes mientras que se estimulan los procesos creativos, así como la mejora del desempeño en cada una de las áreas relacionadas.

La aplicación creada con tecnología de realidad virtual de inmersión (RI), Crality 0.1, consiguió generar interés por parte de los estudiantes hacia la realización de composiciones volumétricas, es decir, incrementó la posibilidad de generación de alternativas en menor tiempo, la evaluación por parte de los participantes demostró que es un incentivo para la generación de volumetrías en etapas tempranas y su vinculación creó un nexo de mayor interacción entre profesor y alumno. En otras palabras, la herramienta pedagógica diseñada permite afrontar algunos de los retos que presenta la enseñanza a nuevas generaciones, uno de ellos, el desinterés por los métodos tradicionales que, en cierto modo están diseñados para generaciones pasadas y no están a la vanguardia de este nuevo siglo en el que las personas, en este caso estudiantes, tienen un arraigo profundo a la tecnología.

Si bien para estas nuevas generaciones es difícil vivir sin elementos tecnológicos, es deber de la educación debe ir de la mano con la tecnología en lugar de tratar de separarla de la educación, es por ello por lo que esta herramienta fortalece los nuevos procesos de enseñanza y permite enfrentar otro de los retos importantes que conlleva educar profesionalmente a estos estudiantes: el apego tecnológico. A pesar de no tener conocimientos teóricos previos sobre realidad virtual, los estudiantes usaron con facilidad la herramienta, mostraron buena actitud al identificar un elemento tecnológico como herramienta de enseñanza y se apropiaron de ella.

Por otro lado, la identificación de cada uno de los indicadores, dentro de la variable creatividad, medido a través de la aplicación permite establecer los niveles de creatividad dentro de los procesos de diseño de las composiciones de los estudiantes. Se han observado altos niveles de estos indicadores que permiten establecer la presencia de creatividad en los estudiantes, corroborando así que al usar la herramienta hay presencia de esta. En otras palabras, se establece que la herramienta genera las condiciones adecuadas para que la creatividad esté presente sin ningún tipo de obstáculo al momento en que los estudiantes crean sus composiciones.

La temática de la investigación abarca una gran cantidad de elementos que permiten que no se limite el desarrollo de ésta, por el contrario, garantiza la continuación prolongada tanto de la fase descriptiva como experimental, permitiendo que se obtengan mejores resultados a medida que se profundiza la investigación. Se puede decir que actualmente se encuentra en una primera etapa, tanto la herramienta de mediación como los resultados obtenidos; es imprescindible que a medida que se profundiza en la investigación se integren expertos en otras disciplinas como neurología, educación, entre otros, con el objetivo de hacer aportes importantes al momento de realizar ejercicios experimentales más profundos.

A pesar de que la herramienta de mediación está en su versión más primitiva, se evidencian algunos de los beneficios que tiene el uso de esta tecnología en la enseñanza de la arquitectura; la reducción del tiempo de creación de composiciones con respecto al uso de los métodos tradicionales permite que el estudiante concentre sus esfuerzos en el desarrollo formal de la misma y no en su expresión, es decir, la herramienta permite un camino más rápido para conceptualizar la forma. Es así como se demuestra que los procesos educativos se pueden acompañar y nutrir de la tecnología, generando beneficios a la comunidad educativa; del mismo modo la integración de nuevos conocimientos tecnológicos a la arquitectura permite que esta siga avanzando con el objetivo de generar mejores edificaciones.

Es así como se concluye que este elemento pedagógico es la muestra de que se debe aprovechar los adelantos tecnológicos y apoyar la educación en ellos, es decir, no se priva de la tecnología, sino que por el contrario se enseña con ayuda de ella, ya que las tecnologías digitales están presentes como prótesis que aumenta y acompañan la cotidianidad.

Agradecimientos

Los autores agradecen, respectivamente, a la Universidad de la Costa CUC, Universidad del Atlántico y la Fundación Arquitectura Probono, por el apoyo y participación en este importante proceso académico e investigativo.

Autoría

Es un trabajo que ha sido realizado y coordinado por el equipo interinstitucional; donde cada uno fue responsable de actividades que fortalecieron la investigación. Así mismo, se hicieron los aportes pertinentes para lograr estructurar el correspondiente artículo. El apoyo del equipo de trabajo y de las instituciones, fue clave para realizar las pruebas y poder obtener unos resultados que validaron la necesidad de vigorizar la implementación de la propuesta del software digital. El primer autor, conjuntamente con los autores 3 y 4 realizaron el desarrollo general de la investigación o tesis de grado. La segunda autora conjuntamente con los autores 5 y 6 realizaron la gestión y aplicación de instrumentos de recolección de datos y resultados.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

Bibliografía

Anguera Argilaga, M. T. (1986). La investigación cualitativa. *Educar*, (10), 023-50. DOI <http://dx.doi.org/10.5565/rev/educar.461>

Arango Lozano, C. (2019). *Centennials: Generación sin etiquetas*. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Acampa, G.; Crepo-Cabillo, I., y Marino, G. (2019). Representación del dibujo frente a simulación de los sistemas BIM. Oportunidad o amenaza para la arquitectura. *ACE: Architecture, City and Environment*, 14(40), 111-132. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.14.40.6689>

Beltrán, Y. (2011). Metodología del diseño arquitectónico. *Revista amorfa de arquitectura*.

Blanca Litwin, R. S. (1982). *Pasos hacia una metodología de diseño*. Buenos Aires: Editorial Belgrano.

Celani, G. (2009). *Enseñando diseño generativo: una experiencia didáctica*. (págs. 162-165). Sao Paulo, Brazil.

Cerda, H. (2006). *La creatividad en la ciencia y en la educación*. Bogotá: Cooperativa Editorial Magisterio.

Ching, F. D. (2015). *Arquitectura. Forma, espacio y orden*. Editorial Gustavo Gili.

Demir, K., Ergen, B., Ergen, Z., & Çabuk, S. (2016). Collaborative 3D design with BDMUD method: the effects of building on cityscape reflections on urban planning. *ACE: Architecture, City and Environment*, 11(32), 61-80. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.11.32.3768>

Durante, D. -D. (2016). *Bayesian Inference and Testing of Group Differences in Brain Networks*. Institute of Mathematical Statistics.

ISTE. (2007). Estándares en TIC para Estudiantes (NETS-S 2007). ISTE (Sociedad Internacional para la Tecnología en Educación).

Janeth Sacker García, M. P. (2013). Pedagogía desarrollista en la práctica del docente de Ciencias Económicas de la Universidad de la Costa. *Economicas CUC*, 34(1), 55-84. Recuperado de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/economicascuc/article/view/577>

Joan Campas Montaner, A. G. (2019). *Del informalismo al arte conceptual*. Barcelona: Universitat Oberta de Catalunya. Recuperado de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/79725/7/Arte%20del%20siglo%20XX%20M%C3%B3dulo%205%20Del%20informalismo%20al%20arte%20conceptual.pdf>

Lei Sun, T. F. (2014). Differences in spatial understanding between physical and virtual models. *Frontiers of Architectural Research*, 28-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2013.11.005>

Machado, M. (2013). Umbral INdisciplinar: Laboratorio - taller del verbo Arquitectura. *Perspectiva*, 3(6), 10-31. Recuperado de <https://produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/20219>

Mujica, J. L. (2008). La realidad virtual como herramienta cognoscitiva y de aprendizaje de la arquitectura. *In Vestigium Ire*, 1(1), 13-18. Recuperado de <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ivestigium/article/view/83>

Najmanovich, D. (2008). *Mirar con nuevos ojos. nuevos paradigmas en la ciencia y el pensamiento complejo*. Buenos Aires: Biblos.

Ovelar Beltrán, R., Benito Gómez, M., & Romo Uriarte, J. (2008). NATIVOS DIGITALES Y APRENDIZAJE. Una aproximación a la evolución de este concepto. *ICONO 14*, 7(1), 31-53. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=552556590003>

Paiva, A. d., & Jedon, R. (2019). Short- and long-term effects of architecture on the brain: Toward theoretical formalization. *Frontiers of Architectural Research*, 8(4), 564-571. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.07.004>

Ramón, H.D.; Russo, C.C.; Sarobe, M.; Alonso, N.; Esnaola, L.; Ahmad, T. & Padovani, F. (2014). El uso de los Entornos Virtuales 3D como una herramienta innovadora en propuestas educativas mediadas con tecnología. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, 72-80. Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/36009>

Santos, M.R. (1987). Treinta y cinco años de pensamiento divergente: teoría de la creatividad de Guilford. *Estudios de Psicología*, 7(27), 175-192. DOI: <https://doi.org/10.1080/02109395.1986.10821474>

Segovia, r., Pérez, l., & Molero, M. (2009). El taller de diseño arquitectónico virtual. *UNICA, Revista de Artes y Humanidades*, 10(2), 100-117. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1701/170118863006.pdf>

Torre, A. d. (2009). Nuevos perfiles en el alumnado - la creatividad en nativos digitales competentes y expertos rutinarios. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento*, 6(1). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/780/78011179008.pdf>

Vindas, A. G. (1999). *Desarrollo de la creatividad*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.