

## CAPÍTULO 6

# Realidad virtual: su aplicación en el diseño y representación arquitectónica

*Jesús Alberto Hartz Vázquez, Gabriela Carmona Ochoa*  
*Universidad Autónoma de Coahuila*

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas complejos adaptativos están formados por múltiples componentes que interactúan entre sí y se adaptan a cambios internos o externos; entre sus características están la autoorganización, pues los componentes individuales interactúan y generan patrones complejos sin una guía centralizada; la adaptación, ya que los sistemas aprenden y evolucionan con base en experiencias pasadas; la no linealidad, pues se presentan pequeñas variaciones que pueden llevar a resultados muy diferentes; y la emergencia, la cual encontramos en las interacciones locales que surgen de comportamientos o estructuras globales que no se pueden predecir a partir de los componentes individuales (Holland, 1996). La realidad virtual, como se explicará más a fondo en este texto, crea entornos tridimensionales interactivos que simulan la realidad

---

o crean mundos completamente nuevos; los usuarios pueden interactuar con estos entornos a través de avatares u otros medios, lo que genera dinámicas propias dentro del entorno virtual; por lo cual ofrece un medio dinámico y flexible para experimentar, simular y analizar los sistemas complejos adaptativos. En lo virtual, las propiedades de adaptación, emergencia y no linealidad que definen a los sistemas complejos adaptativos se pueden percibir en tiempo real, ofreciendo a los investigadores y diseñadores un espacio único para explorar interacciones complejas y ver cómo evolucionan a través del tiempo.

La relación entre los sistemas complejos adaptativos y la realidad virtual se puede observar especialmente desde la perspectiva de la interacción, la evolución del entorno digital y el comportamiento de los usuarios; los sistemas complejos adaptativos están formados por múltiples agentes interconectados que interactúan entre sí y con el entorno; estas interacciones generan patrones emergentes que no pueden predecirse completamente. Algunos ejemplos son los ecosistemas, las economías, las redes neuronales y hasta las ciudades (Mitchell, 2009). Una de las principales características es la autoorganización, pues no necesitan un control centralizado de emergencia, es decir que los patrones surgen de la interacción entre agentes y su adaptabilidad, pues estos aprenden y cambian con el tiempo.

En lo que respecta a la realidad virtual se le considera como un sistema complejo adaptativo porque muestra un entorno digital dinámico donde múltiples agentes humanos y virtuales interactúan y generan nuevas dinámicas; se convierte en un sistema complejo adaptativo cuando se da la interacción de agentes, usuarios, personajes y las inteligencias artificiales; cuando los diferentes agentes interactúan en un entorno digital el sistema evoluciona y crean nuevo contenido modificando el mundo virtual; su mundo virtual cambia de forma emergente y se da el aprendizaje y la adaptación del sistema (Müller y Rüger, 2021). En la

realidad virtual también se puede analizar el comportamiento de los usuarios y ajustar la experiencia virtual, por ejemplo, en videojuegos o en el metaverso; en este tipo de plataformas las interacciones de los usuarios con el sistema y con las inteligencias artificiales se adaptan a la dificultad y a la narrativa según las decisiones del jugador; otro ejemplo son las ciudades virtuales o arquitecturas digitales que crecen orgánicamente según la actividad de sus habitantes.

En cuanto a la arquitectura virtual desde la perspectiva de los sistemas complejos adaptativos, puede ayudar a entender los espacios y la evolución que se genera con la interacción de sus usuarios; por ejemplo, los entornos virtuales no sólo reflejan el diseño original, sino que se transforman con la cultura y hábitos digitales, la dinámica social y espacial; dentro de un mundo virtual se pueden revelar patrones emergentes que no estaban planeados por los diseñadores; se pueden aplicar modelos de sistemas complejos adaptativos para predecir cómo evolucionará un espacio virtual en el tiempo. La realidad virtual puede estudiarse como un sistema complejo adaptativo porque combina múltiples agentes en un entorno digital donde la interacción genera cambios emergentes (Batty, 2018; Schmidt y Ludwig, 2003).

La realidad virtual aplicada en la representación de espacios arquitectónicos se ha convertido en una herramienta clave para el diseño, la experimentación y la simulación de entornos; desde la perspectiva de los sistemas complejos adaptativos se puede ver cómo los espacios virtuales no son simplemente representaciones estéticas, sino sistemas dinámicos en constante evolución; la realidad virtual permite crear, visualizar y experimentar espacios arquitectónicos de una manera interactiva, se pueden probar diferentes materiales, iluminación y distribución espacial; como todo lo que sucede es en tiempo real, la simulación de experiencias espaciales permite evaluar cómo los usuarios interactúan con un espacio antes de su construcción (Batty, 2018). También permite la colaboración,

---

remota de arquitectos, diseñadores e ingenieros, pues estos pueden trabajar juntos en un mismo entorno virtual. Otro ejemplo se puede ver en cuestiones de patrimonio en donde se realiza la preservación digital; actualmente se recrean estructuras históricas en mundos virtuales; los arquitectos pueden construir modelos 3D interactivos que los usuarios exploran con visores de realidad virtual; la relación con los sistemas complejos adaptativos se da cuando ese entorno arquitectónico virtual es más que una simple maqueta digital, pues incorpora dinamismo, interactividad y evolución (Batty, 2018; Schmidt y Ludwig, 2003).

Se puede ver como la interacción de agentes (usuarios) que se da en los espacios arquitectónicos virtuales no se da en aislamiento, sino que dependen de la interacción de múltiples agentes (usuarios humanos) que exploran modifican y personalizan el entorno; utilizando inteligencia artificial se analiza el comportamiento de los usuarios, por ejemplo sus reacciones a los cambios de luz, clima, materiales, etc.; un ejemplo se puede ver en el Metaverso, ahí una plaza digital cambia con la actividad de los usuarios, si muchas personas la visitan aparecen nuevas estructuras o interacciones emergentes de autoorganización y evolución del espacio virtual. Los entornos virtuales pueden cambiar en tiempo real según las acciones de los usuarios; en lugar de ser estructuras fijas pueden adaptarse y evolucionar, los espacios se transforman en función del tráfico de usuarios; otro ejemplo son los museos virtuales, ciertas salas se reorganizan según el interés del público, se puede decir que los edificios aprenden de las interacciones y ajustan su diseño y así optimizan el uso de la luz y del espacio (Müller y Rüger, 2021). Existen ciudades virtuales que se expanden con nuevas zonas según la actividad de sus habitantes; un ejemplo lo encontramos en un campus universitario virtual, ahí los espacios de estudios se reconfiguran según las necesidades de los estudiantes, se crean más zonas de trabajo en equipo; si se detecta que aumenta la colaboración entonces se da la emergencia de patrones

y análisis de comportamiento, dado que los espacios virtuales en realidad virtual permiten registrar datos en tiempo real, se pueden detectar patrones emergentes en la forma en que los usuarios interactúan con la arquitectura; también pueden detectar por donde se agrupan más las personas o que rutas son las más transitadas o cómo afectan los cambios en el diseño a la experiencia del usuario, esto permite estudiar la evolución de los espacios digitales basándose en las dinámicas sociales, aquí es donde se pueden aplicar y hacer estudios netnográficos (Carmona, 2015).

En una ciudad virtual se puede estudiar el análisis de tráfico peatonal y ayudar a rediseñar caminos o crear nuevas zonas de interés; con los sistemas complejos adaptativos se obtienen entornos arquitectónicos digitales, que no sólo representan un diseño, sino que evolucionan con el tiempo, no son estáticos si no vivos, que cambian según la interacción se autorganizan y adaptan a las necesidades de los usuarios, pueden analizarse para entender su evolución; por ejemplo The Line en un principio fue una ciudad virtual; el proyecto en NEOM es un mega desarrollo futurista en Arabia Saudita que incluye una ciudad lineal de 170 km sin automóviles, ni emisiones de carbono; antes de construir la físicamente se creó una versión en realidad virtual y realidad aumentada para simular su desarrollo, probar su funcionamiento y analizar la interacción de los futuros habitantes apoyado en sistemas complejos adaptativos; el entorno digital apoyó la interacción de múltiples arquitectos, urbanistas y diseñadores que modificaban en tiempo real el proyecto; la ciudad virtual y sus futuros habitantes pudieron explorar los espacios antes de ser construidos y dar retroalimentación; las inteligencias artificiales simulaban como se moverían las personas dentro de la ciudad, su autoorganización y su evolución. La ciudad virtual se modificó en respuesta a las necesidades de los usuarios y a los datos recopilados de las simulaciones, se probaron diferentes distribuciones espaciales para ver cuáles funcionaban mejor antes de la construcción física, los patrones emergentes se analizaron,

---

como los flujos de peatones y el uso de espacios, según las interacciones en la realidad virtual se detectaron zonas de alta y baja actividad, lo que permitió rediseñar ciertos espacios para mejorar la eficiencia; la ciudad virtual se adaptó con ayuda de inteligencia artificial y algoritmos de optimización que simularon comportamientos de la población (Muset, 2023). Se identificaron posibles problemas urbanos y arquitectónicos antes de la construcción real, evitando errores, costosos; con una simulación digital hiperrealista de la ciudad, creada con tecnología de gemelos digitales, inteligencia artificial y realidad virtual se puede ver cómo se aplican nuevas tecnologías a la arquitectura y el urbanismo; también se puede observar cómo se transforma dicho contexto en un sistema complejo adaptativo, ya que el entorno digital no es estático, sino que evoluciona con la interacción de los diversos actores, generando patrones emergentes y adaptándose a las necesidades de los usuarios antes de su implementación en el mundo real.

Como se puede constatar la realidad virtual es una tecnología emergente que ha tomado fuerza en cuanto a la representación arquitectónica, pues las posibilidades que ofrece son muy variadas; se sabe que las personas que no cuentan con estudios relacionados con la arquitectura o el diseño tienen cierta dificultad para entender lo que se ha dibujado en los planos o tener una percepción espacial adecuada al momento de ver dichas representaciones, por lo que se ha recurrido a mostrar dibujos en perspectiva o renders (dibujos en perspectiva usando medios digitales) para que así tuvieran una mejor percepción de los proyectos arquitectónicos.

El interés por la realidad virtual aplicada en la representación arquitectónica tiene que ver con la idea de tener una experiencia inmersiva en la cual se pudiera explorar un modelo 3D fiel al proyecto arquitectónico sin necesidad de que el mismo fuera construido, siendo esto de mucha utilidad, ya que, teniendo la experiencia, las personas podrían saber cómo sería el resultado final del proyecto; gracias a los softwares de arquitec-

tura, hoy las posibilidades son muy amplias con este tipo de modelado y además se puede obtener mucha más información. El objetivo de este trabajo de investigación es determinar la influencia que tiene la aplicación de la realidad virtual en la percepción de las personas al observar un proyecto arquitectónico de una vivienda tipo medio respecto a los métodos tradicionales de representación, entendiendo como métodos tradicionales de representación arquitectónica a los planos arquitectónicos, maqueta y renders.

Baraya (2020) dice que la inteligencia humana se divide en ocho tipos diferentes de inteligencia, entre ellas está la inteligencia espacial, la cual es la capacidad de generar modelos de la realidad en tres dimensiones en nuestros pensamientos; la arquitectura es una de las tantas disciplinas que sacan partido de esta capacidad; a lo largo de la historia se ha buscado que la proyección mental deba ser plasmada para que otros la perciban de una manera fiel a la que los proyectistas imaginan. Con la aparición de las computadoras para el diseño y la generación de modelos 3D, la visualización arquitectónica empezó a apoyarse en herramientas que habían sido utilizadas en otros medios como el cine, diseño, fotografía y videojuegos; hoy en día se ve como la representación arquitectónica se ha encaminado al uso del hiperrealismo; la visualización arquitectónica utiliza la realidad virtual auxiliada por dispositivos multisensoriales para lograr que las personas tengan la experiencia de entrar en el modelo arquitectónico y así tener la mejor percepción posible de los proyectos arquitectónicos.

Se parte del supuesto de que la aplicación de la realidad virtual en la representación arquitectónica influye positivamente en la percepción que tienen las personas de un proyecto arquitectónico respecto a los métodos tradicionales de representación. Las personas con nulo o poco conocimiento sobre arquitectura y los métodos de representación tienen mejor percepción del proyecto arquitectónico con métodos más moder-

---

nos como pueden serlo, renders y recorridos con realidad virtual. Con la aplicación de la realidad virtual en la representación arquitectónica se logra tener una mayor percepción de un proyecto arquitectónico y las personas sienten una inmersión total en el diseño.

### **SOFTWARES CAD Y LOS MOTORES DE RENDERIZADO.**

Como se mencionó anteriormente la tendencia de la visualización arquitectónica está encaminada hacia el hiperrealismo gracias a la generación de imágenes creadas por computadora. A lo largo de la historia se han buscado nuevas y mejores maneras de representar la arquitectura, lo que a su vez ha provocado la implementación de tecnologías inmersivas en la representación arquitectónica, como lo es la realidad virtual. Gracias a las computadoras, Internet y la creación de softwares CAD hubo un gran avance en la representación arquitectónica, de modelación 3D, softwares de renderización; ahora la arquitectura se representa más allá del papel y de la mente, ahora se hace de manera digital. A continuación, se enlistan los softwares CAD para arquitectura.

| <b>Nombre</b> | <b>Características</b>  |
|---------------|---|
| AutoCAD.      | Crea, mide y modifica geometrías en dos dimensiones, lo que le permite generar dibujos con gran precisión. Además, puede diseñar sólidos en tres dimensiones, incorporando superficies y objetos en malla que pueden ser renderizados mediante su propio motor. También ofrece la posibilidad de automatizar tareas como la comparación de dibujos, el recuento de elementos, la inserción de bloques y la creación de tablas de planificación. |

|                 |  |
|-----------------|--|
| 3Ds Max         | <p>Crea sólidos tridimensionales con superficies y objetos en malla, permitiendo modelar con un alto nivel de detalle. Además, cuenta con su propio motor de renderizado, lo que facilita la visualización mediante renders y es compatible con motores de render externos. También ofrece la posibilidad de animar los objetos modelados en 3D.</p>   |
| Civil 3D        | <p>Está orientado al diseño de ingeniería civil y es compatible con software BIM (Modelado de Información para la Construcción). Ofrece funciones integradas que optimizan la creación de bocetos, el diseño y la documentación para proyectos de construcción. Permite realizar estudios de explicación, modelado 3D de superficies, diseño de emplazamientos y análisis topográficos, modelado de carriles, así como análisis de aguas pluviales y sanitarias. Además, facilita la producción documentación de planos, y puede intercambiar información con otros programas.</p> |
| CATIA           | <p>Crea modelos tridimensionales con un alto nivel de detalle y asignación de texturas. Además, posibilita simular el comportamiento del modelo en situaciones de la vida real.</p>  |
| Chief Architect | <p>Está dirigido a constructores, diseñadores, interioristas, arquitectos y paisajistas. Este software permite la creación de dibujos, detalles constructivos y elevaciones en dos dimensiones, además del modelado en 3D. También facilita la visualización de los elementos mediante su propio motor de renderizado, lo que lo convierte en una herramienta muy completa y versátil, ya que todas estas funciones se encuentran integradas en el mismo programa.</p>   |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Revit/<br>AutoDesk    | Compatible con la metodología BIM (Modelado de Información para la Construcción), este software optimiza la eficiencia y precisión de los proyectos, desde el diseño conceptual, la visualización y el análisis, hasta la fabricación y la construcción. Permite crear modelos tridimensionales con alta precisión, ya que el modelo 3D desarrolla o modifica los planos, elevaciones y secciones. Además, es ideal para el diseño de múltiples disciplinas de ingeniería, como la estructural y la de fabricación, así como para el diseño de instalaciones necesarias en la construcción. La visualización de los modelos 3D se facilita mediante su motor de renderizado integrado y es compatible con otros motores. |
| Rhinoceros o<br>Rhino | Se pueden crear, editar, analizar, documentar, renderizar, animar y traducir curvas, superficies y sólidos, así como nubes de puntos y mallas poligonales. Además, permite la elaboración de dibujos e ilustraciones en dos dimensiones. La visualización de objetos 3D es posible gracias a su motor de renderizado incorporado y también ofrece la opción de integrar otros motores.   |
| SketchUp              | Es un software de modelado 3D basado en caras que permite generar ilustraciones en 2D a partir del modelo tridimensional. También facilita la elaboración de dibujos y la creación de planos, secciones y elevaciones. Aunque no cuenta con un motor de renderizado propio, es compatible con motores externos, lo que posibilita la visualización del modelo debido al render.  |

*Tabla 1.* Softwares CAD para arquitectura. Fuente: Elaboración propia (Clark, 2024)

Poncela (2019) explica que los motores de render se pueden definir como programas dedicados a la creación de imágenes y videos de manera digital, mediante una computadora; la función de estos motores

es recopilar y calcular distintos parámetros de una escena, la cual parte desde el modelo 3D en cuestión y parámetros asignados a la misma, como lo son: la iluminación, sombras, simulaciones, partículas y texturas, las cuales a su vez cuentan con distintos parámetros que deben calcularse como lo es la reflectividad, difusión y relieve. El resultado final de los cálculos mencionados anteriormente es una imagen o video a la que se le conoce como render. Estos programas de renderizado pueden ser incorporados a software de edición 3D, como los mencionados o como softwares independientes en los cuales se tendrá que exportar el modelo 3D para su renderización; entre algunos de los programas de renderizado encontramos a V-Ray, Lumion, Unreal, Artlantis, Twinmotion y Enscape. Gracias a los motores de renderizado la visualización arquitectónica ha dado grandes pasos, debido a que muchos de estos motores de renderizado hacen posible la generación de imágenes panorámicas en 360°, las cuales pueden ser vistas con unas gafas de realidad virtual; algunos de estos motores son directamente compatibles desde un inicio con las tecnologías de realidad virtual.

### **LA TECNOLOGÍA DEL FUTURO: REALIDAD VIRTUAL**

Los primeros intentos de aplicar la realidad virtual como una herramienta de visualización fueron en los sistemas de recorridos virtuales arquitectónicos; los primeros trabajos en este campo fueron realizados por la Universidad de Carolina del Norte a comienzos del año 1986; siguieron otros grupos de investigación que crearon aplicaciones, por ejemplo, el caso de la visualización de La Basílica de San Pedro, presentada en el congreso Mundial de Realidad Virtual en 1995. La sensación de presencia y el sentido del espacio en un entorno virtual abre la posibilidad de percibir el entorno bajo diferentes condiciones de luz, tal como en la vida real y la posibilidad de recorrer espacios que no existen en realidad (Mazuryk y Gervautz, 1999).

A continuación, se presentan algunas máquinas que fueron los primeros intentos de esta tecnología.

| <b>Año</b> | <b>Nombre</b>         | <b>Características</b>  |
|------------|-----------------------|---|
| 1960-1962  | Sensorama             | Morton Heilig desarrolló un simulador multisensorial que utilizaba una película pregrabada a color con sonido estéreo, complementada por sonido binaural, diseñado para ofrecer una experiencia de audio 3D similar a la de estar en el lugar donde se producen los sonidos; incorporaba también elementos como olores, viento y experiencias vibratorias. Este fue el primer intento de crear un sistema de realidad virtual, presentando todas las características ambientales, aunque carecía de interactividad. |
| 1965       | El visor definitivo   | Ivan Sutherland introdujo la realidad virtual al proponer el concepto de un mundo artificial que integraba gráficos interactivos, force-feedback (estímulos generados por fuerzas en el sentido kinestésico), así como experiencias sensoriales de gusto, olfato y sonido.  |
| 1965       | La espada de Democles | Ivan Sutherland construyó un dispositivo considerado el primer Head Mounted Display (HMD) o visor montado en la cabeza, que contaba con un rastreo adecuado de la posición de esta. Este dispositivo ofrecía una vista estéreo y se actualizaba correctamente según la posición y orientación de la cabeza de la persona.   |
| 1971       | Grope                 | Se desarrolló un prototipo de sistema de force-feedback en la Universidad de Carolina del Norte.  |

|      |  |  |
|------|--|--|
| 1975 | Videoplace                                 | Una realidad artificial creada por Myron Kruger, en este sistema, las siluetas de los usuarios eran capturadas por cámaras y proyectadas en una gran pantalla. Los participantes pudieron interactuar entre sí gracias a técnicas de procesamiento de imagen que determinaban sus posiciones en dos dimensiones en dicha pantalla. |
| 1982 | Vcass                                      | Thomas Furness, en el Laboratorio de Investigación Médica Armstrong de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, desarrolló el simulador de sistemas aerotransportados visualmente acoplados, en un avanzado simulador de vuelo.  |
| 1984 | VIVED- Virtual Visual Environment Display: | Se construyó una pantalla de entorno visual en el Centro de Investigación Ames de la NASA, utilizando tecnología estándar. Este dispositivo era un HMD monocromático estereotípico.  |
| 1985 | VPL  | VPL fue la compañía que fabricó el popular Data-Glove y el EyePhone HMD, siendo estos los primeros dispositivos de realidad virtual disponibles en el mercado.   |
| 1989 | BOOM                                       | Fake Space Labs fabricó BOOM, el cual era una pequeña caja que contenía dos monitores CRT, visibles a través de agujeros para los ojos. El usuario podía sostener la caja frente a estos y moverse en el entorno virtual, mientras un brazo mecánico indicaba la posición y orientación de dicha caja.                             |

|      |  |   |
|------|--|---|
| 1989 | UNC Walk-through Project:                      | En la Universidad de Carolina del Norte se desarrolló una aplicación para recorridos arquitectónicos. Se construyeron diversos dispositivos de realidad virtual para mejorar este sistema, incluyendo HMD's rastreadores ópticos y el motor de gráficos Pixel-Plane.  |
| 1990 | Virtual Wind Tunnel (Túnel de Viento Virtual): | Desarrollado a principios de los años 90 en la aplicación Ames de la NASA, este sistema permitió la observación e investigación de campos de flujo.   |
| 1992 | CAVE (Cave Entorno Virtual Automático):        | Es un sistema de visualización virtual y científica. En lugar de utilizar un HMD, proyecta imágenes estereoscópicas en las paredes de la habitación, requiriendo que el usuario utilice lentes con obturador LCD. Este enfoque garantiza una mejor calidad de resolución de las imágenes y un campo de visión más amplio. |
| 1995 | Realidad Aumentada                             | Esta tecnología se utilizó anteriormente para proporcionar información adicional de vuelo a los pilotos de combate (VCASS). Gracias a su gran potencial para mejorar la visión humana, la realidad aumentada se convirtió en un enfoque central en muchos proyectos de investigación a principios de los años 90's.       |

Tabla 2. Antecedentes de la realidad virtual. Fuente: Elaboración propia (Mazuryk y Gervautz, 1999).

Como se observa en la *Tabla 2*, los términos realidad virtual y entornos virtuales se utilizan de manera indistinta en la comunidad informática;

otros términos relacionados incluyen experiencia sintética, mundos virtuales, mundos artificiales y realidad artificial. A principios de los años 90, el término de realidad virtual comenzó a ganar más popularidad. A continuación, se presentan algunas definiciones de realidad virtual:

| Autor        | Año  | Definición  |
|--------------|------|---|
| Fuchs        | 1992 | Son gráficos interactivos en tiempo real con modelos en tres dimensiones, combinados con una tecnología de visualización que le dan al usuario la inmersión en el mundo modelado y la manipulación directa.   |
| Gigante      | 1993 | Es la ilusión de la participación en un mundo sintético en lugar de la observación externa de dicho entorno. La realidad virtual en dispositivos estereoscópicos que rastrean el movimiento de la cabeza en tres dimensiones, seguimiento de manos/cuerpo y sonido binaural. La realidad virtual es una experiencia inmersiva y multisensorial. |
| Cruz-Neira   | 1993 | La realidad virtual se refiere a lo inmersivo, interactivo, multisensorial, centrado en el espectador, y entornos en tres dimensiones generados por computadora y la combinación de las tecnologías requeridas para construir estos entornos.   |
| Von Schweber | 1995 | La realidad virtual te deja explorar y ver el mundo en tres dimensiones en tiempo real, con seis grados de libertad. En esencia, la realidad virtual es un clon de la realidad física.  |

Tabla 3. Concepto de realidad virtual. Fuente: Elaboración propia (2024)

Como se observa en la *Tabla 3* algunas de estas definiciones tienen variaciones, pero esencialmente son equivalentes, todas ellas explican que la realidad virtual se parece a vivir una sensación o a tener una experiencia interactiva e inmersiva, es decir con la sensación de presencia, en un mundo simulado o casi real y autónomo.

---

Lo primordial para poder tener una experiencia en realidad virtual es un HMD, mejor conocidos como gafas de realidad virtual o visor de realidad virtual; un HMD es un dispositivo que va montado en la cabeza del usuario que cuenta con una pantalla, por la cual es posible reproducir las imágenes creadas por una computadora y disfrutar así de una experiencia en realidad virtual; los dispositivos cuentan con un apropiado rastreo de la cabeza, lo que permite actualizar correctamente a la posición y orientación de la cabeza del usuario; la persona una vez inmersa en una experiencia en realidad virtual, si voltea la cabeza hacia la izquierda, el movimiento será reflejado en lo que se verá a través de las gafas, de igual forma, algunas de estas gafas detectan la altura a la que se encuentren las gafas mediante sensores, por lo que si se agacha, esto también se verá reflejado; algunas gafas de realidad virtual, las cuales no necesitan de una computadora como tal para poder funcionar correctamente y que se les conoce como gafas de realidad virtual todo en uno.

## **LA IMPORTANCIA DE LA PERCEPCIÓN VISUAL EN LA ARQUITECTURA**

La percepción dentro de la disciplina de la psicología se le considera como un proceso subjetivo, es una manera de interpretar la realidad, es un proceso en el que construimos y atribuimos características a lo sentido por medio de un estímulo físico que ha captado nuestro organismo. Arnheim (2006), considera a la percepción como un estado subjetivo, a través del cual se realiza una abstracción del mundo externo, de hechos y sucesos relevantes para la persona; realizó un estudio sistemático de las artes visuales a partir de los principios de la psicología y dice lo siguiente:

“La percepción visual no opera con la fidelidad mecánica de una cámara, que lo registra todo imparcialmente: todo el conglomerado de diminutos pedacitos de forma y color que constituyen los ojos y la boca de la persona que posa para la fotografía, lo mismo que la

esquina del teléfono que asoma accidentalmente por encima de su cabeza. ¿Qué es lo que vemos?... Ver significa aprehender algunos rasgos salientes de los objetos: el azul del cielo, la curva del cuello del cisne, la rectangularidad del libro, el lustre de un pedazo de metal, la rectitud del cigarrillo” (Arnheim, 2006, pp. 58-59).

En psicología la sensación se determina como la parte objetiva y la percepción la subjetiva del proceso sensorio-perceptivo (Montagud, 2020). La sensación tiene que ver con los órganos de los sentidos, lo cuales captan los estímulos físicos, y estos se van a transformar en impulsos nerviosos y los van a enviar al cerebro en donde se realizará la percepción. La sensación es objetiva y es la captación de un estímulo físico, es decir se recibe un estímulo, se registra y se codifica la información en los órganos sensoriales, después viaja por las vías neuronales o nervios y llega hasta el cerebro.

Santana (2016) dice que en la arquitectura se pueden determinar cinco tipos de percepción las cuales principalmente ayudan o auxilian a percibir la arquitectura: la percepción visual, espacial, auditiva, táctil y del tiempo. La percepción visual (Montoya, 2016) es de suma importancia en la percepción de la arquitectura, debido a que es el primer acercamiento que se tiene con la misma. Con la percepción visual se puede percibir la forma de la arquitectura y darle valores cualitativos, para percibir inmediatamente de que se trata, la forma brinda información altamente privilegiada, incluso es posible determinar el género de un objeto arquitectónico. De igual modo se pueden percibir los materiales con los que el objeto arquitectónico está construido (Montoya, 2016) como sus texturas, acabados y el paisaje, lo cual crea cierta percepción del objeto arquitectónico. Se pueden percibir los colores de la arquitectura, los cuales forman un papel importante, debido a que los colores pueden influir de manera contundente en nuestros sentidos, estados de ánimo y la forma de entender el objeto arquitectónico. Más allá del valor estético

---

que los colores puedan aportar la percepción de estos son los responsables de una serie de estímulos conscientes e inconscientes que influyen en la experiencia de los usuarios en el espacio.

Según el uso que se le pueda dar a los colores se puede oscurecer o iluminar un espacio, resaltar volúmenes, detalles constructivos o hacer énfasis en determinadas formas o aspectos del espacio.

La percepción espacial opera bajo la percepción visual (Escobar, 2012), por lo que están altamente ligadas una de la otra; los espacios tienen un papel importante en la arquitectura ya que estos al momento de ser identificados por el usuario dan las bases necesarias para navegar por el entorno. Cuando hay ausencia de espacios, surge la desorientación y ansiedad al no saber a dónde dirigirse; esto debido a la relación entre el individuo y su entorno, ya que este sugiere ciertas relaciones, estructuras y diferencias que el individuo organiza con ayuda de la percepción y le da un significado a lo que ve.

Las texturas, acabados y materiales con los que los objetos arquitectónicos y sus espacios son construidos, juegan un papel importante en como los percibimos (Escobar, 2012), otorgando atmósferas a los mismos y haciendo que los percibamos de una manera u otra. Asimismo, los colores juegan un papel relevante, ya que dependiendo de los colores utilizados se pueden percibir espacios más amplios, dar jerarquía a ciertos espacios e incluso el de percibir cosas más cerca que otras.

Este tipo de percepción tiene que ver en como distinguimos el sonido, lo que escuchamos, dentro de los objetos arquitectónicos y como reaccionamos (Hernández, 2012). La percepción auditiva tiene mucha conexión con los espacios, ya que dependiendo de estos percibimos el sonido de una manera u otra; por lo cual es posible crear atmósferas en los espacios, que según sea la intención de dicha atmósfera es posible crear estímulos en el sujeto y consecuente a esto despertar ciertas

emociones en el mismo. Este tipo de percepción da la capacidad a las personas de recibir, interpretar e integrar las sensaciones (Cruz, 2010) que son transmitidas.

La textura de los materiales que fueron utilizados en la construcción del objeto arquitectónico, su temperatura, su dureza y la presión y una vez percibidas estas características asignarles cualidades específicas a las mismas. Los materiales juegan un papel de suma importancia en la arquitectura y para la percepción táctil no es la excepción, ya que la misma es capaz de estimular a los sujetos y lograr que los mismos tengan cierta percepción de los espacios; la percepción táctil (Cruz, 2010) ha tomado una mayor relevancia en los últimos años, debido a que se busca una arquitectura más universal y accesible.

La percepción del tiempo se refiere a como percibimos el paso de este; este tipo de percepción es muy importante en la vida ya que esta hace que tengamos una noción del pasado, presente y futuro (Morgando, 2014). En la arquitectura es posible tener este tipo de percepción viendo en qué estado se encuentran los materiales de un objeto arquitectónico (Morgando, 2014), de esta manera es posible percibir si se trata de un objeto nuevo o si se trata de un objeto que tiene años de haber sido construido. De igual manera al estar dentro de un objeto arquitectónico se puede percibir el paso del tiempo mediante luces, sombras y cómo es la iluminación de un espacio.

Para dar un ejemplo, si una habitación tiene una ventana orientada hacia el este, los rayos del sol entrarán por la misma todas las mañanas y así los sujetos dentro de la habitación sabrán que se trata de una hora temprana del día, cuando los rayos del sol ya no tengan incidencia en la habitación y esta sea iluminada más indirectamente sabrán que se trata de una hora más avanzada del día, ya que puede ir desde el mediodía hasta ciertas horas de la tarde según la calidad de iluminación de la

---

habitación, una vez que en la habitación no puedan realizarse ciertas tareas como leer o escribir sin la necesidad de luz artificial, el sujeto sabrá que se trata de una hora muy avanzada del día, ya se trate de un atardecer o la noche misma.

En conclusión, se sabe que la percepción es fundamental para entender un objeto arquitectónico; y es a través de los cinco tipos de percepción; visual, espacial, auditiva, táctil y del tiempo que las personas tienen la posibilidad de entender mejor los espacios.

## **ESTUDIO DE PERCEPCIÓN**

Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia en la percepción de las personas al aplicar la realidad virtual en el proyecto arquitectónico de una vivienda de tipo medio respecto a métodos tradicionales de representación. Para este estudio se propuso utilizar el método cualitativo, ya que cuando se trata de percepción se está hablando de algo que es subjetivo. Una de las principales características de este enfoque es la recolección de datos no estandarizados, ya que no se efectúa una medición numérica, pues no tiene como objetivo el efectuar un análisis estadístico; la recolección de los datos tiene como objetivo el obtener las perspectivas y puntos de vista de las personas participantes en el estudio, es decir, sus emociones, experiencias, significados y otros aspectos subjetivos; son un conjunto de prácticas interpretativas que hacen al mundo visible, lo transforman y convierten en una serie de representaciones en forma de observaciones, anotaciones, grabaciones y documentos; es naturalista porque estudia a los objetos y seres vivos en sus contextos o ambientes naturales e interpretativo, pues intenta encontrar sentido a los fenómenos en términos de los significados que las personas les otorgan (Hernández Sampieri, et. al. 2006).

Los sujetos seleccionados para el caso de estudio de este proyecto de investigación fue un grupo de 5 personas en un rango de edad de los 21 a 23 años, con el mismo nivel de estudios (actualmente estudiando licenciatura) y que no fueran estudiantes de arquitectura o ingeniería civil, debido a que estas carreras están relacionadas a la arquitectura y construcción. A las personas seleccionadas se les mostraron las siguientes formas de representación arquitectónica según sea el caso:

- Planos arquitectónicos sin nombres en áreas
- Maqueta arquitectónica
- Recorrido con realidad virtual

Se optó por remover los nombres en las áreas de los planos para observar si los participantes eran capaces de identificar los espacios solamente por las figuras del mobiliario en los planos. Los planos fueron impresos en una hoja de tamaño carta cada uno, a blanco y negro en una escala 1:100; los planos fueron realizados en el software de AutoCAD.

La maqueta arquitectónica que se realizó fue monocromática con lasas removibles y materiales de madera balsa, palitos de madera, estropajo natural y MDF.

El recorrido con realidad virtual fue realizado en dos etapas: la primera etapa consta del modelo 3D con sus respectivas texturas y amueblado, el cual fue realizado una vez teniendo los planos realizados en AutoCAD. Primero se importaron los planos al programa de modelado 3D, en este caso en particular fue utilizado SketchUp; una vez importados los planos se realizó el modelo 3D con las medidas correspondientes arrojadas por los planos; teniendo el modelo 3D en crudo, se aplicaron las texturas correspondientes en el modelo y el mobiliario según correspondía en los planos. Terminado el proceso de aplicar texturas y amueblado del modelo 3D se utilizó el motor de renderizado de Enscape para la visualización mediante la realidad virtual del modelo. Para hacer más real la experiencia

virtual, todas las texturas fueron trabajadas para ser lo más físicamente correctas respecto a reflexiones, difusión de los materiales y relieve de texturas. Una vez terminada la primera etapa de configuración de la escena del modelo 3D se usó como software auxiliar SteamVR con el cual es posible el enlace de los lentes de realidad virtual utilizados (en este caso Oculust Quest 2) con el motor de renderizado.

A continuación, se muestra en la *Tabla 4*, a manera de resumen, con los resultados obtenidos de las observaciones realizadas en los cinco casos.

| <b>Per-sona</b> | <b>Lo obser-vado</b>                                     | <b>Duración de observación Minutos</b>                  | <b>Descripción de lo percibido</b>  | <b>Nivel de compren-sión</b> |
|-----------------|--|---|---|------------------------------|
| 1               | -Planos arquitectónicos<br>-Maqueta                      | Planos: 3:06<br>Maqueta: 0:52                           | Con los planos no entendió las escaleras, después de observar la maqueta comprendió que se trataba de las escaleras   | Bueno                        |
| 2               | -Planos arquitectónicos<br>-Maqueta<br>-Realidad virtual | Planos: 2:00<br>Maqueta: 1:00<br>Realidad virtual: 4:50 | No comprendió totalmente la planta de conjunto. No dimensionaba en su cabeza los espacios mediante los planos y maqueta. Cuando tuvo una experiencia en realidad virtual comentó que todo se veía muy real y más amplió | Excelente                    |

|   |   |  |   |           |
|---|---|--|---|-----------|
| 3 | <p>-Planos arquitectónicos</p> <p>-Realidad virtual</p>                 | <p>Planos: 2:41</p> <p>Realidad virtual: 5:17</p>                    | <p>No comprendió totalmente la planta de conjunto y comentó que los espacios los percibía muy reducidos con los planos, pero que al momento de verlos en realidad virtual los notó muy amplios</p>  | Excelente |
| 4 | <p>-Planos arquitectónicos</p> <p>-Realidad virtual</p> <p>-Maqueta</p> | <p>Planos 2:43</p> <p>Realidad virtual: 7:11</p> <p>Maqueta 0:52</p> | <p>No comprendió totalmente la planta de conjunto. Cuando tuvo una experiencia en realidad virtual comentó que los espacios eran más amplios de lo que se había imaginado con los planos. Se le hizo redundante observar la maqueta después de la experiencia en realidad virtual</p> | Excelente |

|   |                                     |                             |  |       |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|--|-------|
| 5 | -Planos arquitectónicos<br>-Renders | Planos 3:42<br>Renders 1:30 | No comprendió totalmente la planta de conjunto, con los planos no pudo percibir si los espacios eran grandes o pequeños hasta observar los renders ya que comentó que los percibía amplios | Bueno |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|--|-------|

Tabla 4. Resumen de los resultados de investigación. Fuente: Elaboración propia (2024)

A continuación, se muestran algunos ejemplos de las diferentes representaciones arquitectónicas que se mostraron a las personas que fueron los sujetos de estudio.

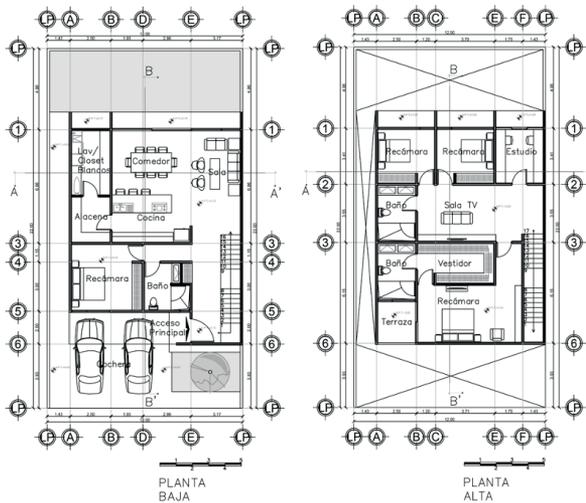


Fig. 1. Planta baja y Planta alta del proyecto arquitectónico. S/E. Fuente: Elaboración propia (2024)



Fig. 2. Vista en perspectiva de la maqueta del proyecto arquitectónico y render de la fachada principal del proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia (2024)



Fig. 3. Render de la sala del proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia (2024)



Fig. 4. Persona del caso 3 teniendo una experiencia virtual inmersiva del proyecto arquitectónico. Fuente: Elaboración propia (2024)

## CONCLUSIONES

Gracias al avance de la tecnología hoy en día es posible realizar representaciones de la arquitectura de manera digital; los distintos softwares CAD son herramientas para expresar las ideas de los proyectistas, la incorporación de tecnologías usadas en películas y videojuegos permite la realización de renderizados de proyectos arquitectónicos y lograr representar a la arquitectura de manera fotorrealista y la incorporación de la realidad virtual en los mismos. Gracias a la evolución de los motores de renderizado, hoy en día es posible la visualización de proyectos arquitectónicos en realidad virtual, ya sea en renders 360° o de una manera inmersiva.

El objetivo de este proyecto de investigación era determinar la influencia que tiene la aplicación de la realidad virtual en la percepción que los sujetos tienen de una vivienda de tipo medio respecto a métodos tradicionales de representación arquitectónica; por medio de los cinco casos de estudio

se pudieron recabar los siguientes datos; los sujetos que participaron en el experimento pudieron leer la mayoría de los planos sin problema alguno, incluso quitándole el nombre a las áreas, a excepción de la planta de conjunto, pues resultó interesante que la mayoría de los participantes no lo pudieron entender; los participantes mencionaban que las sombras era lo que los confundía. Las personas que no tuvieron una experiencia inmersiva con la realidad virtual, coincidían que los métodos adicionales a los planos, es decir los renders, los ayudaban a tener una mejor percepción del proyecto pues ambos se complementaban, con los planos veían cómo estaban distribuidos los espacios; tal fue el caso de la persona del caso 5, que mencionó que viendo sólo los renders no podía saber cómo estaba distribuido el proyecto y que gracias a los planos podía saber en dónde estaba cada espacio mostrado.

Las personas que sólo tuvieron acceso a los planos arquitectónicos no lograban tener una percepción total del espacio, ya que si bien podían ver las medidas de los espacios no podían dimensionar el número en su cabeza; la persona del caso tres mencionó que cuando veía los espacios en el plano se le hacían sumamente reducidos, pero que al momento de tener una experiencia inmersiva con la realidad virtual su percepción cambió totalmente ya que ahora percibía los espacios tal y como eran, mencionando que eran muy amplios; esto también fue una constante con los demás sujetos, si bien a los otros dos los espacios les parecían amplios en planos, al momento de tener una experiencia inmersiva su percepción cambió completamente.

Cabe mencionar que los sujetos que tuvieron una experiencia inmersiva con la realidad virtual mencionaban que se sentían verdaderamente en el espacio, perdiendo incluso la noción con la realidad, todos coincidieron que fue su método preferido para tener una mejor percepción del proyecto, ya que es como si estuvieras en el proyecto ya construido.

---

Se puede concluir que la influencia que tiene la aplicación de la realidad virtual en la percepción que los sujetos tienen de una vivienda de tipo medio respecto a métodos tradicionales de representación arquitectónica es altamente positiva, observamos que este método de representación arquitectónica traslada a los sujetos a lo que podría llamarse un “gemelo” de lo que podría ser el proyecto construido, siendo el modelo del proyecto altamente fiel a lo que la realidad podría llegar a ser, también influye la creación de atmósferas en los espacios gracias a el mobiliario 3D incluido en el modelo hace aún más realista la experiencia.

La representación arquitectónica que utiliza realidad virtual o recorridos de inmersión comparte principios claves con los sistemas complejos adaptativos, como por ejemplo la capacidad de adaptación, la interacción y la emergencia, pues permite simular espacios tridimensionales donde el usuario puede hacer un recorrido para experimentar un espacio, incluso con los cambios del entorno como la iluminación, ventilación, colores, etc., o su relación con los objetos como el mobiliario; es decir que es un entorno dinámico y se pueden observar las acciones de los usuarios y poder realizar cambios o adaptaciones al proyecto si así se requiere; a partir de interacciones simples entre componentes; en un entorno que usa la realidad virtual, se pueden observar patrones a partir de las interacciones de múltiples usuarios en el mismo espacio virtual; por ejemplo, en un recorrido inmersivo, el comportamiento de grupos de personas interactuando dentro del espacio puede revelar flujos y comportamientos no previstos por los arquitectos. En un entorno arquitectónico inmersivo que utiliza la realidad virtual, los usuarios y el entorno “adaptan” su comportamiento en tiempo real, pues estos entornos permiten explorar cómo los espacios arquitectónicos pueden ser dinámicos y responden a diversas variables, lo que enriquece el proceso de diseño y también la experiencia del usuario, por lo tanto, el usuario entiende mejor el proyecto y su percepción de él.

Los sistemas complejos adaptativos y la realidad virtual están relacionados en su capacidad de autoorganización y evolución, pues se componen de múltiples agentes interconectados que interactúan sin necesidad de un control centralizado, lo que genera patrones emergentes impredecibles como se sabe, estos sistemas incluyen ecosistemas, economías y ciudades.

En el caso de la realidad virtual, esta se considera un sistema complejo adaptativo porque involucra la interacción dinámica entre usuarios, inteligencias artificiales y el entorno digital. Los entornos virtuales evolucionan con la interacción de sus agentes, generando cambios emergentes y adaptativos; esto se observa en videojuegos, metaversos y ciudades digitales, donde la arquitectura y el diseño cambian según las necesidades y el comportamiento de los usuarios.

Desde la perspectiva arquitectónica, los espacios virtuales no son solo representaciones estáticas, sino sistemas en constante evolución; la arquitectura digital en la realidad virtual permite experimentar con materiales, iluminación y distribución espacial en tiempo real, facilitando la colaboración remota entre diseñadores; además, la preservación digital de estructuras históricas se enriquece al incorporar interactividad y evolución en modelos 3D explorables mediante realidad virtual. Ejemplos concretos de cómo los entornos virtuales se comportan como sistema complejo adaptativo incluyen:

- Plazas en el metaverso que cambian con la actividad de los usuarios.
- Museos virtuales cuyas salas se reorganizan según el interés del público.
- Ciudades virtuales que se expanden en función de la actividad de sus habitantes.

El caso de The Line, una ciudad futurista en Arabia Saudita ilustra cómo un entorno virtual permite simular y optimizar el diseño urbano antes de su construcción física; gracias a la inteligencia artificial y la realidad virtual, se analizaron flujos de peatones y patrones emergentes para

---

ajustar la distribución espacial de manera eficiente. Es posible concluir que la aplicación de los sistemas complejos adaptativos en la realidad virtual y la arquitectura digital permite comprender la evolución de los espacios virtuales en función de la interacción social y la dinámica emergente, facilitando estudios como la netnografía para analizar patrones de comportamiento y optimizar el diseño de entornos digitales.

Un sistema complejo adaptativo en arquitectura es aplicable en proyectos que utilizan realidad virtual para su representación; podría ser el diseño de un espacio arquitectónico, generativo e interactivo en un entorno de realidad virtual, por ejemplo en gran escala, una ciudad virtual adaptativa, como la que se realizó para The Line; los elementos clave del proyecto serían los agentes interdependientes, los usuarios o habitantes virtuales, diseñadores y urbanistas que actúan como agentes autónomos, tomando decisiones sobre la configuración del espacio, las decisiones individuales afectan al sistema global, generando patrones emergentes, de autoorganización y emergencia. La ciudad va a evolucionar a partir de interacciones locales; es decir se puede modificar una plaza o rediseñar una calle, pues el sistema adapta su estructura en respuesta a estos cambios; las zonas con mayor densidad de actividad pueden volverse naturales dentro del entorno virtual, es cuando se presenta la adaptabilidad y el aprendizaje; otro elemento clave sería el sistema que utilizaría algoritmos para identificar patrones de uso y mejorar la distribución espacial en tiempo real, si una zona se vuelve muy transitada, el sistema puede sugerir cambios en el diseño urbano, optimizando, flujos y accesibilidad; otro elemento sería la no linealidad y la retroalimentación que ayudan a tomar decisiones, un pequeño cambio en una estructura puede generar transformaciones mayores en el entorno, permitiendo a los usuarios experimentar diferentes configuraciones antes de aplicar cambios definitivos, creando así un proceso adaptativo. Este sistema permite explorar cómo las comunidades pueden diseñar sus espacios

urbanos en entornos virtuales, antes de implementarlos en la realidad física, además, facilita la experimentación con modelos urbanos sostenibles, reduciendo errores de planificación y costos. Este es un ejemplo que muestra como los sistemas complejos adaptativos pueden aplicarse en arquitectura a través de permitir un entorno interactivo que evoluciona según las interacciones de los usuarios.

---

## REFERENCIAS

- Arnheim, Rudolf. (2006). *Arte y percepción visual*. Editorial Alianza Forma.
- Baraya, S. (2020). La evolución de la representación visual en la arquitectura (y hacia dónde se dirige). ArchDaily. <https://www.archdai.com/evolucion-representacion-visual-arquitectura>
- Batty, M. (2018). *Inventando ciudades del futuro*. MIT Press.
- Carmona, G. (2015). Ciudad Imaginaria y sociedad virtual: Las redes sociales virtuales como medio para el análisis de los imaginarios urbanos. Universidad de Guadalajara, Universidad Autónoma de Coahuila.
- Clark, S. (2024). *El mejor software de arquitectura*. TechRadar. <https://www.techradar.com/best/best-architecture-software>
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., & De Fanti, T. A. (1993). Realidad virtual basada en proyección de pantalla envolvente: El diseño e implementación de CAVE. En *Computer Graphics: Actas de SIGGRAPH*.
- Cruz Abud, Y. (2010). *La percepción en la arquitectura*. <https://percepcionyarquitectura.blogspot.com>
- Escobar, G. (2012). *Percepción y comunicación visual en la arquitectura*. Slideshare. [https://es.slideshare.net/gene\\_29/percepcion-y-comunicacion-visual-en-la-arquitectura#:~:text=Importancia%20de%20la%20Percepción%20Visual%20en%20el%20campo,presentan%20al%20observarlos%20se%20puede%20organizar%20en%20grupos](https://es.slideshare.net/gene_29/percepcion-y-comunicacion-visual-en-la-arquitectura#:~:text=Importancia%20de%20la%20Percepción%20Visual%20en%20el%20campo,presentan%20al%20observarlos%20se%20puede%20organizar%20en%20grupos)
- Fuchs, H. (1992). Research Directions in Virtual Environments. Taller invitacional, Universidad De Carolina del Norte, Chapel Hill.
- Gigante, M. A. (1993). *Virtual reality: Definitions, history and applications*. San Diego: Virtual Reality.

Hernández, L., Taibo, J., Seoane, A., & Jaspe, A. (2011). Percepción del espacio en la visualización de arquitectura mediante realidad virtual inmersiva. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación* (4.ª ed., Vol. 1). (N. I. López, Ed.). McGraw-Hill.

Holland, J. (1996). *Sistemas adaptativos complejos: Redes de neuronas artificiales y algoritmos genéticos* (A. Pazos, Trad.). Universidad de Michigan.

Mazuryk, T., & Gervautz, M. (1999). *Virtual reality: History, applications, technology, and future*. Institute of Computer Graphics, Vienna University of Technology.

Mitchell, M. (2009). *Complejidad: Una visita guiada*. Universidad de Oxford Press.

Montagud, N. (2020). *Las 4 diferencias entre sensación y percepción*. Psicología y Mente. <https://psicologiymente.com/neurociencias/diferencias-sensacion-percepcion>

Morgando Bernal, I. (2014). *La percepción del tiempo*. Investigación y Ciencia. Recuperado de <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/psicologia-y-neurociencia/37/posts/la-percepcion-del-tiempo-12083>

Musset, A. (2023). NEOM and The Line (Saudi Arabia): Futuristic utopia or urban nightmare? *L'Information Géographique*, 87(1). Éditions Armand Colin. <https://www.cairn.info/revue-l-information-geographique-2023-1-page-139.htm>

Müller, W. y Rüger, B. (2021). *Realidad virtual para arquitectura, diseño e ingeniería: aplicaciones y soluciones industriales*. Springer.

Poncela, M. (2019). *Los motores de render para diseño 3D*. Cipsa. Recuperado de <https://cipsa.net/motores-render/>

Schmidt-Belz, B. y Ludwig, B. (2003). *CoActas de la Conferencia Internacional sobre Sistemas Complejos*.

Von Schweber, L., & Von Schweber, E. (1995, marzo 14). Virtual reality-Virtually here. *PC Magazine*. Recuperado de [http://www.infomaniacs.com/Pubs/PC-Mag\\_VR\\_intro.htm](http://www.infomaniacs.com/Pubs/PC-Mag_VR_intro.htm)