



## FACULTAD DE INFORMÁTICA

# TESINA DE LICENCIATURA

**TÍTULO:** Realidad Virtual interactiva aplicada al desarrollo de infraestructura e inmuebles

**AUTORES:** Agustín Ezequiel Aguirre

**DIRECTOR/A:** Mg. Claudia Banchoff, Esp. Laura Fava

**CODIRECTOR/A:**

**ASESOR/A PROFESIONAL:**

**CARRERA:** Licenciatura en Informática

### Resumen

*La principal labor de los arquitectos es volcar sus diseños del plano mental a dibujos, modelos 3D, etc. Sin embargo, comunicar estas ideas a un público poco especializado a través de medios poco inmersivos puede ser un punto de fricción. Admirar una edificación depende del sentimiento de presencia al visitarla. Esto es imposible si la misma es en etapas de diseño o geográficamente muy distante. En este contexto, fue posible aprovechar el alto grado de inmersión y sensación de presencia que caracteriza a la realidad virtual, para generar un prototipo que permita transitar en primera persona a través de inmuebles digitales y decorarlos rápidamente. Por último, se analizó su usabilidad.*

### Palabras Clave

*Realidad Virtual, Arquitectura, Visualización Arquitectónica, Inmueble, Inmersión, Unity, Meta Quest 2,*

### Conclusiones

*Se creó un prototipo de herramienta de visualización arquitectónica para computadora de escritorio y sistemas de Realidad Virtual.*

*Las pruebas de usabilidad realizadas utilizando un dispositivo Meta Quest 2 indican que tanto profesionales como estudiantes de arquitectura prefieren la Realidad Virtual para el análisis espacial de inmuebles. También indicaron que usarían este prototipo de Realidad Virtual con fines comerciales y educativos.*

*La usabilidad del prototipo resultó fácil de aprender y demostró que podría utilizarse con usuarios poco experimentados y con fines comerciales.*

### Trabajos Realizados

*Se exploraron los conceptos más destacados relacionados con la Realidad Virtual.*

*Se relevaron sistemas de Realidad Virtual comerciales, programas de visualización arquitectónica y motores de videojuegos.*

*Se desarrolló CEIT: un prototipo de aplicación para computadora de escritorio y dispositivos Meta Quest 2 de Realidad Virtual para visualización arquitectónica, que permite recorrer un inmueble y decorarlo desde una perspectiva en primera persona.*

*Se realizaron pruebas de concepto con arquitectos graduados y estudiantes de arquitectura.*

### Trabajos Futuros

*Las sesiones presenciales con arquitectos y estudiantes arrojaron algunas funcionalidades que podrían agregar valor al software. Entre ellas están:*

- *Desarrollar nuevas interacciones.*
- *Mejorar la movilidad del usuario virtual.*
- *Añadir soporte para más formatos de archivos 3D.*
- *Desarrollar un tutorial del estilo "visita guiada".*



Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Informática

# Realidad Virtual interactiva aplicada al desarrollo de infraestructura e inmuebles

Agustín Ezequiel Aguirre  
2024

# Agradecimientos

*A mi familia, Sandra, Alejandro y Luciano, por su ayuda, ánimos, impulso, soporte y confianza incondicionales e imperecederos a lo largo de toda mi vida. Nunca me falten.*

*A mi novia Pilar, por su cariño, respeto y enfoque profesional constantes. Sin sus aportes y revisiones escritas, esta tesina aún estaría en desarrollo. Juntos durante y en el final de la carrera.*

*A mis amigos, a todos, por el aliento para terminar. Y en especial a Sebastián y Lautaro por haber sido mis “asesores profesionales no oficiales” durante esta tesina. Sus perspectivas, experiencias y anécdotas como arquitectos dieron origen a este proyecto.*

*A las Tutoras Claudia y Laura, quienes mostraron excelente predisposición y compostura docente, en especial sobre el último tramo.*

*Y a todos los que me insistieron y motivaron para que este título sea una realidad.*

*A todos,  
Muchísimas Gracias.*

*Agustín.*

# Índice general

<b>Capítulo 1 - Introducción</b>	<b>4</b>
1.1. Motivación: la baja inmersión de las herramientas visuales usadas para la comunicación en Arquitectura	4
1.1.1. Problemática 1: comunicación arquitecto-cliente	5
1.1.2. Problemática 2: desafíos abordados por los estudiantes de arquitectura	6
1.2. Objetivos de la tesina	7
1.3. Organización del documento	7
<b>Capítulo 2 - Marco Teórico</b>	<b>8</b>
2.1. Realidad Virtual	8
2.2. Motores de Videojuegos	13
2.3. Herramientas digitales de visualización arquitectónica	14
2.3.1. Lumion	14
2.3.2. Twinmotion	16
2.3.3. Enscape	18
2.3.4. Unreal Engine	21
2.3.5. Resumen del relevamiento	21
<b>Capítulo 3 - CEIT: diseño y tecnologías utilizadas</b>	<b>23</b>
3.1. Presentación de CEIT	23
3.2. Principios de diseño	24
3.2.1. Herramienta de Comunicación con Clientes	24
3.2.2. Intuitiva	25
3.2.3. Paridad de Funcionalidades entre Plataformas	25
3.3. Herramientas para la Implementación	25
3.3.1. Paquetes Oficiales de Unity	25
3.3.2. Recursos de terceros	26
3.3.3. Otras herramientas	28
<b>Capítulo 4 - CEIT: Implementación</b>	<b>29</b>
4.1. Flujo de Usuario	29
4.2. Entornos Virtuales	31
4.3. Acciones	32
4.4. Usuario Virtual	33
4.4.1. Representación del usuario en el entorno virtual	33
4.4.2. Control de la visión	34
4.4.3. Características del movimiento	34
4.4.4. Método de apuntado a objetos	35
4.5. Tipos de ítems y paletas de ítems	36
4.5.1. Objetos CEIT	37
4.5.2. Superficies	38
4.5.3. Interacciones	39
4.5.4. Paletas de Ítems	40
4.6. Interfaz de Usuario (UI)	41
4.6.1. Componentes Compartidos	41
4.6.2. Visualización Frontal o Head-Up Display (HUD)	42
4.6.3. Selector de Mapas	45

4.6.3.1. Paso 1: selección del Mapa	46
4.6.3.2. Paso 2: carga de Miniatura y Configuración del Suelo del Paseo	47
4.6.3.4. Paso 3: punto de Aparición	50
4.6.3.5. Paso 4: carga	50
4.6.4. Pausita	51
4.6.5. Rueda de Interacciones	52
4.6.6. Menú de Pestañas	53
4.6.6.1. Pestaña 1: parámetros del Usuario	54
4.6.6.2. Pestañas 2 y 3: vistas de las Paletas de Objetos CEIT y Superficies (respectivamente)	55
4.6.6.3. Pestaña 4: Día y Noche	56
4.7. Interacciones	57
4.7.1. Colocar Objeto	58
4.7.2. Remover Objeto	61
4.7.3. Aplicar Superficie	61
4.7.4. Tomar Medida	62
4.7.5. Mover el Sol	64
<b>Capítulo 5 - Usabilidad y Métricas</b>	<b>65</b>
5.1. Las pruebas realizadas	65
5.2. Análisis de las respuestas de la encuesta	67
5.2.1. Sección 1: información personal relevante de los entrevistados	67
5.2.2. Sección 2: información segmentada relacionada al uso de CEIT	69
5.2.3. Sección 3: conclusiones segmentadas	71
5.3. Observaciones y comentarios	74
<b>Capítulo 6 - Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>76</b>
6.1. Conclusiones	76
6.2. Futuras líneas de investigación	77
<b>Referencias</b>	<b>78</b>
<b>Anexo I. Resultado de las entrevistas</b>	<b>80</b>
Enlace a la encuesta	80
Respuestas de la sección 1	80
Respuestas de la sección 2	80
Respuestas de la sección 3	84
<b>Anexo II - Autores y enlaces a los recursos utilizados</b>	<b>85</b>
Assets obtenidos de Flaticon	85
Assets obtenidos de FreePik	86
Assets obtenidos de Emojiterra	87
Assets obtenidos de Wikimedia	87
Assets obtenidos de Meta (Developers)	87
Assets obtenidos de Sketchfab	87
Assets obtenidos de Unity Asset Store	87

# Capítulo 1 - Introducción

La arquitectura es el arte y la técnica de proyectar y construir edificios para satisfacer las necesidades del ser humano, a través de la forma, la funcionalidad y los preceptos estéticos. En palabras de Renzo Piano: "Como arquitecto, a las 10 AM debes ser un poeta. Para las 11 AM debes ser un humanista [...]. Y para el mediodía debes ser un constructor" (Piano R., 2018).

Su lado artístico se enfoca en el diseño, la estética y el carácter de un proyecto. Busca provocar emociones y sensaciones a sus usuarios combinando el uso de la luz (artificial y natural), colores, texturas, materiales, alturas, amplitudes, recorridos, vistas, sonido, decoración y distribución de sus espacios. Su lado técnico toma herramientas de la ingeniería civil para garantizar que los aspectos presupuestarios, técnicos y funcionales de la construcción sean factibles y seguros.

Los proyectos de arquitectura son concebidos a fin de resolver los siguientes menesteres:

- Vivienda: edificaciones residenciales.
- Laboral: edificaciones destinadas a desarrollar alguna actividad comercial o gubernamental. Ejemplo: oficinas, restaurantes, comercios, municipios, etc.
- Urbanización: edificaciones públicas con fines de enriquecimiento cultural, esparcimiento y vida en sociedad. Ejemplo: museos, bibliotecas, hospitales, plazas, teatros, centros deportivos y culturales, etc.

La finalidad profundamente humana de estas obras provoca que el lado artístico de la disciplina cobre aún mayor protagonismo. Cada decisión estética de una edificación refuerza la interpretación del público hacia las asociaciones ideológicas y sentimientos pretendidos.

## 1.1. Motivación: la baja inmersión de las herramientas visuales usadas para la comunicación en Arquitectura

Al igual que con otras formas de arte, admirar una edificación es un proceso profundamente sensorial que depende de la estimulación directa de los sentidos para generar los efectos deseados. O sea, es necesario visitar la obra para gozar de la experiencia completa (Villalobos Alonso D., Pérez Barreiro S. M., y López del Río A., 2020). En caso de no ser posible, la alternativa restante es apreciar una proyección de la obra a través de otro tipo de medios, como por ejemplo: fotos, dibujos, videos, incluso una descripción escrita o verbal.

Dicho cambio de medio es habitual y crucial en las actividades de diseño del arquitecto. El profesional transporta sus ideas del plano mental a medios físicos que más tarde le serán de utilidad. Más concretamente, vuelca sus ideas preliminares a bocetos, dibujos, planos, modelos 3D, maquetas, etc. Estas proyecciones resultan de gran ayuda en el largo plazo y sirven como refuerzo para comunicar ideas acerca del diseño de la obra con otras personas.

Sin embargo, estas ayudas visuales no logran expresar las mismas cualidades de una edificación (Villalobos Alonso D., Pérez Barreiro S. M., y López del Río A., 2020). Las cualidades eliminadas más interesantes para esta tesina son:

- la sensación de inmersión o presencia en el lugar,
- la consecuente percepción del espacio aloentríco, racionalizando la espacialidad y verticalidad del edificio a escala real,
- y todas las sensaciones y pensamientos adicionales que dependan de las anteriores para ser experimentadas.

En una conversación entre dos arquitectos esto no suele suponer un problema. Ellos poseen la capacidad de crear una proyección mental de la obra a escala real, tomando de referencia las herramientas visuales provistas. Las fricciones o malentendidos se disparan cuando las ideas de un proyecto deben transmitirse a una persona ajena al tema. Al no contar con la capacidad de proyección espacial del profesional su interpretación puede distar de lo realmente expuesto (Smith, A. C., Bermúdez, J., & Striefel, S.). Por lo tanto, la ausencia de inmersión y espacialidad de las herramientas visuales más comunes, y la brecha en inteligencia espacial entre las partes, son los factores limitantes más habituales de la comunicación en arquitectura.

A continuación se presentarán brevemente dos casos interesantes donde la brecha mencionada constituye una problemática:

- Deficiencia en la comunicación entre el arquitecto y el cliente, lo que genera discrepancias entre las expectativas del cliente y las propuestas del arquitecto.
- Problemáticas abordadas por los estudiantes de arquitectura.

### 1.1.1. Problemática 1: comunicación arquitecto-cliente

Los proyectos diseñados a medida y encomendados por privados, suelen estar cargados de requerimientos estéticos sumamente estrictos. En estos trabajos la obra finalizada debe enaltecer los gustos personales del cliente así como resultar funcional a las actividades que desee desarrollar en ella. Ambos aspectos son diseñados con el largo plazo en mente debido a la vida útil de una construcción. Algunos ejemplos de esto son las viviendas particulares, comercios, edificios de departamentos u oficinas, o cualquier otro tipo de construcción o remodelación personalizada.

Dichas características denotan la importancia de la comunicación asertiva entre arquitecto y cliente durante la etapa temprana de anteproyecto<sup>1</sup>, donde la iteración ágil de diseños y su revisión, son aún muy poco costosas. Es de vital importancia que la etapa de construcción no se vea afectada por cambios de diseño, ya que podrían disparar retrasos en la finalización de la obra, uso poco eficiente de materiales y aumentos considerables del presupuesto. A su vez, esto puede dañar gravemente la experiencia final del cliente con el proyecto, el arquitecto y la obra finalizada.

---

<sup>1</sup> Anteproyecto: etapa parte del proceso de diseño arquitectónico donde se definen requerimientos.

Incluso a pesar de sus graves consecuencias, este riesgo se materializa muy frecuentemente en trabajos del estilo. Su aparición está ligada a la falta de conocimiento técnico del cliente y su limitada capacidad para proyectar y dimensionar los espacios propuestos. Ante escenarios de estas características las herramientas visuales tradicionales (planos, bocetos, renders, maquetas, etc) sólo resultan funcionales al arquitecto, precisamente por no transmitir la sensación de inmersión necesaria para comprender sus elementos.

Existen oportunidades en las que es el cliente quien idealiza un espacio de forma errónea sin importar qué tan precisa sea la descripción del arquitecto, o qué tan detalladas las ayudas visuales presentadas. Por ejemplo, es normal que proyecte los espacios más estrechos o bajos de lo que en realidad serán, y también al opuesto. En otros casos, el cliente acepta avanzar a otras etapas del proyecto creyendo erróneamente que el acabado estético y funcional de los espacios (el material de los pisos, el color de las paredes, la disposición de ventanas y tomas eléctricas) será de su total conformidad y utilidad. En el mejor de los casos, ambas problemáticas sólo desenlazan en fricción entre partes durante el anteproyecto, aunque es habitual que persistan sin ser detectadas hasta avanzada la obra.

Otro escenario de conflicto ocurre cuando el cliente mismo, inconscientemente, propone decisiones de diseño que atentan contra sus propios objetivos y gustos. Normalmente esto se manifiesta porque el particular:

- No logra expresar con claridad sus deseos: la transmisión de sus ideas queda ofuscada por palabras inexactas y oraciones poco asertivas.
- No posee una visión clara de lo que busca: sólo sabe qué componentes de otras construcciones le agradan (tipo de techo, orientación respecto al sol, estilo de ventanas, más de un piso, etc), pero no cómo sería la obra final.
- Cree que necesita algo que realmente no le sería atractivo, cómodo, apropiado o funcional a su estilo de vida.

Es responsabilidad del arquitecto discernir las verdaderas necesidades del cliente de gustos arbitrarios, y por sobre todo, detectar esta clase de situaciones durante el anteproyecto. Para ello, las entrevistas normalmente incluyen ayudas visuales de referencia (como muestras de materiales, paletas de colores, edificaciones e interiores de referencia, etc) con el objetivo de fomentar el intercambio de ideas. Sin embargo, una vez más, estas herramientas no poseen la capacidad inmersiva para acotar la brecha espacial ya explicada.

Por último, a causa de estos escenarios hoy en día se investigan y desarrollan herramientas visuales más inmersivas, que faciliten el intercambio de opiniones e ideas entre ambas partes.



### 1.1.2. Problemática 2: desafíos abordados por los estudiantes de arquitectura

Una de las actividades más comunes en la carrera de arquitectura es el estudio de edificios históricos de todas partes del mundo. Una vez más, aparece la problemática antes explicada: es necesario visitar las obras en cuestión para comprender sus características espaciales (Villalobos Alonso D., Pérez Barreiro S. M., y López del Río A., 2020). Aunque este caso presenta un agravante adicional: el recorrido de edificios queda restringido a lugares cercanos y de fácil acceso para el estudiante, dejando de lado las obras más distantes.

Otra actividad habitual es la creación de diseños bajo consigna. El objetivo es que el alumnado comprenda, a prueba y corrección docente, las características espaciales de sus propios modelos de ensayo. Sin embargo, al tratarse de espacios imaginarios (y obviamente no visitables) el entendimiento de sus cualidades se da a través de la aproximación contra otros entornos de características similares. Esto puede dificultar el aprendizaje o entrenamiento de las habilidades espaciales de los estudiantes en caso de no contar con espacios visitables de dimensiones parecidas o equivalentes.

## 1.2. Objetivos de la tesina

Los objetivos principales de esta tesina, teniendo en cuenta algunas de las problemáticas planteadas, son:

- Diseñar y crear un prototipo, denominado CEIT (Creador de Entornos Interactivos Transitables), que permita la creación de un entorno inmersivo transitable a partir de modelos arquitectónicos creados previamente, permitiendo su visualización y manipulación.
- Evaluar el prototipo creado y la experiencia de usuario con modelos reales.

A su vez, se enfatizó sobre las siguientes líneas de trabajo:

- Relevar algunas de las herramientas de visualización arquitectónica más comunes entre arquitectos, haciendo énfasis en su facilidad de uso, características y soporte de RV.
- Relevar motores de juegos disponibles y su adopción.
- Diseñar e implementar un prototipo de aplicación que responda a las problemáticas planteadas.
- Llevar a cabo una prueba de concepto del prototipo con arquitectos graduados y estudiantes.

## 1.3. Organización del documento

En **este Capítulo** se explicaron las motivaciones y objetivos de esta tesina.

En el **Capítulo 2** se elabora el marco teórico. Comienza definiendo conceptos claves de los sistemas de RV y luego se relevan algunos dispositivos comerciales. Seguido se relevan distintos motores de juegos. Por último se relevan algunas herramientas de visualización arquitectónica populares (a fecha del relevamiento).

En el **Capítulo 3** se definen los principios de diseño y objetivos de la aplicación desarrollada. Luego se especifican las herramientas y assets utilizados para el desarrollo.

En el **Capítulo 4** se detalla la arquitectura de CEIT, sus funcionalidades e interfaz de usuario.

En el **Capítulo 5** se analizan las pruebas de concepto realizadas con usuarios reales. El análisis incluye los datos obtenidos a partir de encuestas y observaciones obtenidas.

Por último, en el **Capítulo 6** se explican las conclusiones y trabajo futuro.

## Capítulo 2 - Marco Teórico

Como ya se comentó en el capítulo anterior, la principal problemática a atacar es la baja inmersión de las herramientas más frecuentemente utilizadas en el ámbito profesional y académico de arquitectura. Esto dificulta la percepción espacial en clientes o estudiantes de arquitectura debido a no sentirse presentes en la obra diseñada. La realidad virtual (RV) puede contribuir a solventar este problema ya que actualmente es de los medios más inmersivos de todos, volviendo más susceptible al usuario a sentir la presencia necesaria en el entorno propuesto.

### 2.1. Realidad Virtual

El término ha evolucionado con los años, década a década cada escritor ha aumentado, refinado o enriquecido su significado, conforme nuevas investigaciones y dispositivos aparecían. A continuación se presenta una serie de definiciones de RV en orden cronológico:

- Pantelidis (1993) definió la RV como el conjunto de entornos digitales altamente inmersivos e interactivos en los que el usuario llega a sentirse partícipe o parte de él (p. 23).
- *"Una forma de simulación altamente interactiva y dinámica en la que se puede ingresar a un mundo o entorno generado por computadora, y explorar los objetos tridimensionales (3-D) dentro de él, mediante los sentidos visuales, auditivos y hápticos (tacto)"* (Hoffmann & Hu, 1997).
- *La RV genera un entorno de simulación tridimensional que busca: "Inducir un comportamiento dirigido en un individuo mediante el uso de estimulación sensorial artificial, mientras que el individuo tiene poca o ninguna conciencia de la interferencia".* (LaValle, 2023)
- *"Realidad virtual es un término común para describir contenido que puede reproducirse mediante dispositivos digitales, como gafas de realidad virtual o smartphones (realidad virtual móvil)." (Bockholt, N., 2024)*

Puede notarse que todas mencionan dos características distintivas de la RV respecto a otras tecnologías o experiencias: el alto **nivel de inmersión** del usuario y su capacidad de generar la **sensación de presencia** dentro del entorno virtual. Y es que ambos términos están fuertemente enlazados ya que son causa y consecuencia respectivamente.

La **inmersión** conforma la piedra fundamental de la RV. Puede definirse como la capacidad tecnológica de aislar al usuario del mundo real y envolverlo dentro del entorno virtual a través de la estimulación de sus sentidos. Dicha definición fue concebida a partir de distintas perspectivas al respecto:

- Slater & Wilbur (1997) la definen como una métrica tecnológica objetiva acerca de la capacidad envolvente de los displays de computadora
- Witmer & Singer (1998) aseguran que se trata de un estado psicológico medible, que aumentará al aislar efectivamente los usuarios del mundo real.

Dentro del contexto de la RV, “la **presencia** es un estado de consciencia, el sentido (psicológico) de estar en el entorno virtual” (Slater & Wilbur, 1997). La noción de presencia en un ambiente mediado es la creencia de que uno mismo está en un mundo distinto al que se encuentra su propio cuerpo (Slater & Usoh, 1993). Cuanto mayor es la inmersión de un medio, mayor es la chance de que el usuario experimente presencia dentro del entorno virtual (Schubert & Crusius, 2002), y a su vez conforme aumenta la inmersión, mayor es la presencia que sentirá (Wirth & Hofer, 2009).

El funcionamiento básico de un sistema de RV puede resumirse como la traducción de mensajes entre los entornos virtual y físico siguiendo este flujo: cuando el usuario genera acciones de entrada corporales (ya sean movimientos con la cabeza, movimientos con las manos, presionar un botón, etc), la interfaz traduce esas acciones a señales digitales para que el entorno virtual las interprete y procese. Luego, las reacciones del entorno virtual se traducen en cantidades físicas para que el usuario pueda percibirlas (tales como imágenes, videos, vibraciones, olores, etc) y finalmente reaccionar a ellas. Este intercambio de cantidades puede producirse a través de diferentes sentidos (visión, sonido, tacto y olfato) y es fundamental para aumentar la inmersión (Selzer, 2021).

Kaplan-Rakowski y Gruber (2019) categorizaron los sistemas de RV según su grado de inmersión:

- **Inmersión Ligera o Baja (LiVR)**: también conocidos como “RV de escritorio”. El usuario experimenta la RV a través de una pantalla plana (un monitor por ejemplo) y las interacciones con el entorno se producen utilizando un mouse y teclado u otros periféricos como controles (Dhimolea, Kaplan-Rakowski & Lin (2022)).
- **Muy Inmersivos (HiVR)**: Kaplan-Rakowski & Gruber (2019, p. 552) la definen como un entorno virtual de 360° generado por computadora que permite al usuario percibirlo como espacialmente realista utilizando un casco estereoscópico de RV (o HMD por las sigla en inglés de Head-Mounted Device). El usuario interactúa con el entorno virtual haciendo uso de botones en el casco, controles o periféricos hápticos.

El funcionamiento básico de un HMD consiste en detectar la posición y rotación de la cabeza del usuario, y partir de estos datos renderizar (en una o más pantallas) la visión de cada ojo (por separado) respectiva en el entorno virtual. Un HMD sigue los movimientos de cabeza del usuario, permitiéndole ver la escena en 360° en cualquier dirección, aumentando la inmersión y el sentimiento de presencia (Dhimolea, T. K., Kaplan-Rakowski, R., & Lin, L., 2022). A estos cascos se los denomina estereoscópicos ya que cuenta con cristales que magnifican el campo de visión final del usuario. La combinación de factores permiten una

percepción de la profundidad en el entorno virtual muy cercana a la del mundo real. La Figura 2.1 muestra el casco del Meta Quest 2 desde distintas perspectivas<sup>2</sup>.



Figura 2.1 - Vista frontal y trasera del casco estereoscópico del Meta Quest 2

También es usual el uso de dispositivos externos complementarios al casco que amplifican la inmersión del usuario y suelen definir el modo de interacción con el entorno virtual. Los más usuales suelen ser los controles de seguimiento de las manos. Generalmente se establece uno para cada mano y cada uno posee botones (cuya cantidad y posición varían según el modelo). Al igual que con el HMD, la posición y rotación de los controles físicos se traduce a sus contrapartes en el entorno virtual permitiendo al usuario conocer la posición de sus manos en todo momento, permitiendo una interacción más natural. La Figura 2.2 muestra los controles del Meta Quest 2 desde distintas perspectivas.



Figura 2.2 - Vista frontal, lateral y trasera de los controles del Meta Quest 2

El término RV ha ganado gran popularidad entre el público general durante la última década. Esto es debido al posicionamiento de mercado y la positiva recepción de dispositivos de RV desarrollados por las empresas más grandes de entretenimiento y tecnología (como por ejemplo Playstation<sup>3</sup>, Meta<sup>4</sup>, Vive<sup>5</sup>, etc). En estos últimos 10 años, los avances en materia de calidad, tamaño, peso y velocidad del hardware, interfaces de usuario (UI) y APIs de desarrollo han sido más que notables.

<sup>2</sup> Cabe aclarar que este modelo de casco es el utilizado en el desarrollo de esta tesina.

<sup>3</sup> <https://www.playstation.com/es-ar/ps-vr/>

<sup>4</sup> <https://www.meta.com/es/quest/products/quest-2/>

<sup>5</sup> <https://www.vive.com/us/>

Ortiz Fernández S. (2022) distingue tres tipos de sistemas de RV inmersivos:

- **Tethered (Conectada):** delegan la capacidad de cómputo en hardware (HW) externo de gran potencia de cómputo, como puede ser una computadora de escritorio (PC) o una consola de videojuegos. La aplicación se ejecuta en el HW externo mientras que envía a través de una conexión por cable lo que verá el usuario. Este tipo de sistemas admite experiencias en RV de alta calidad gráfica y complejidad. Sin embargo, sus principales puntos negativos son la necesidad de una conexión por cable continua que reduce la movilidad del usuario y HW externo de costos usualmente altos. Algunos ejemplos de este tipo de dispositivos son las líneas de productos Playstation VR, HTC Vive Pro y Meta Quest (antiguamente Oculus Quest). Sin embargo, es importante mencionar que la línea de visores Meta Quest ofrecen la opción adicional de una conexión inalámbrica vía WI-FI.
- **Standalone (Autocontenida):** funcionan sin necesidad de HW externo, haciendo uso únicamente de la capacidad de procesamiento que traen incorporada y controles. Generalmente el HW de procesamiento radica en el HMD, lo que limita la capacidad de cómputo final. A su vez, esto implica una calidad gráfica inferior y experiencias más sencillas. Suelen ser más baratos y portables que los dispositivos tethered ya que están pensados para utilizarse por sí solos de manera inalámbrica. En esta categoría podemos encontrar al HTC Vive Focus, a la línea Meta Quest (ya que también permite utilizarse de esta manera) y la línea Pico.
- **Smartphone-Powered (Potenciada por un Smartphone):** utilizan un smartphone (“teléfono inteligente”) como unidad de procesamiento. Hacen uso principalmente del display, los procesadores y sensores como acelerómetros y giroscopios. Su HMD se compone de un soporte de un material barato (usualmente cartón) en el que se inserta el teléfono. La inmersión ofrecida, al igual que la calidad gráfica, es muy inferior a la de las categorías anteriores debido a la limitada capacidad de cómputo. No obstante, suele ser la opción más económica de las tres.

La Tabla 2.1 muestra un relevamiento de los distintos dispositivos de RV respecto su tipo:

Dispositivo	Tipo
Meta Quest 2	Standalone y Tethered
Sony Playstation VR	Tethered
HTC Vive Pro 2	Tethered
HTC Vive Focus	Standalone
Pico 3	Standalone
Xiaomi Mi VR Play 2	Smartphone
Google Cardboard	Smartphone

Tabla 2.1. Relevamiento de dispositivos de RV realizado en Diciembre 2020

Ninguna plataforma de entretenimiento suele ser bien recibida si no tiene contenido disponible. Es por eso que los fabricantes de sistemas de RV crean SDKs (Software Development Kits) para simplificar la creación de contenido específico para ese dispositivo. Es así como podemos encontrar aplicaciones para RV de lo más variadas e inmersivas que abarcan distintas disciplinas. A modo de ejemplo podemos mencionar:

1. Educación: **The Real Heart**<sup>6</sup> es una aplicación que muestra el funcionamiento interno del corazón humano a escala 1:1.
2. Medicina: **Neurorehab**<sup>7</sup> es una empresa que ofrece productos de RV y Realidad Aumentada para terapia de dolor crónico, ansiedad, rehabilitación ortopédica, rehabilitación neuronal, entre otros.
3. Arte: **The Kremer Collection VR Museum**<sup>8</sup> es una exposición virtual de la colección de cuadros de la familia Kremer. Se exponen modelos realistas de famosas pinturas de Rembrandt, Aelbert Cuyp, Frans Hals entre otros.
4. Geografía y el mundo: **Google Earth VR**<sup>9</sup> permite al usuario estar en cualquier calle del mundo fotografiada en 360° por Google.
5. Escultura 3D: **ShapesXR**<sup>10</sup> permite a múltiples usuarios crear modelos 3D de manera colaborativa.

Sin embargo, el tipo predominante de aplicaciones de RV son videojuegos. Hoy en día se crean experiencias de lo más variadas, como por ejemplo:

- **Half Life Alyx**<sup>11</sup>: un juego de acción de ciencia ficción ambientado en el universo de Half Life.
- **Beat Saber**<sup>12</sup>: un juego de ritmo y baile, donde el jugador debe cortar cubos que se le aproximan en sintonía con la música, usando dos láseres que nacen de los controles virtuales.
- **Phasmofobia**<sup>13</sup>: un juego de tipo cooperativo donde los jugadores deberán trabajar juntos para atrapar una serie de fantasmas en diversas locaciones.
- **Subnautica**<sup>14</sup>: un juego de supervivencia y exploración de ciencia ficción, donde el jugador deberá recolectar recursos y sobrevivir en un planeta lleno de vida submarina alienígena.

Un detalle interesante de los dos últimos es que están disponibles tanto en PC como en RV, sólo que se adaptaron a los tipos de inputs específicos.

En conclusión, los avances tecnológicos en materia de RV han dado lugar a un nuevo paradigma de la comunicación audiovisual, sin precedentes, y que coloca al usuario en el centro de una escena simulada. Este nuevo nuevo paradigma consigue transmitir una presencialidad e inmersión que ningún otro medio actualmente puede. A su vez, la ligereza y

---

<sup>6</sup> <https://www.meta.com/es-es/experiences/pcvr/3591205037615680/>

<sup>7</sup> <https://neurorehabvr.com/xr-therapy-system>

<sup>8</sup> <https://www.meta.com/experiences/pcvr/1944128808953270/>

<sup>9</sup> <https://vr.google.com/earth/>

<sup>10</sup> <https://www.shapesxr.com/>

<sup>11</sup> <https://www.half-life.com/es/alyx>

<sup>12</sup> <https://beatsaber.com/>

<sup>13</sup> <https://www.kineticgames.co.uk/phasmophobia>

<sup>14</sup> <https://unknownworlds.com/en/games>

velocidad del hardware llevaron esta clase de dispositivos del laboratorio al hogar de sus usuarios, haciendo que su uso doméstico sea cada vez más frecuente y en consecuencia, dando lugar a toda clase de aplicaciones originales, variadas y creativas.

## 2.2. Motores de Videojuegos

Es importante mencionar que todos los juegos nombrados anteriormente fueron creados utilizando un motor de juegos (Half Life Alyx en Source 2 y el resto en Unity). Un motor de juegos es un framework que puede extenderse para crear videojuegos (Jason 2005:11). Los más populares ofrecen numerosas herramientas y facilidades específicas del desarrollo de videojuegos y que generalmente están agrupadas en una interfaz de usuario (UI) conveniente. Algunas de las más comunes suelen ser: renderizado de gráficos 2D y 3D, físicas aplicables a objetos, creación de niveles, control de animaciones y sonidos, exportación del juego (creación del ejecutable) a un sistema operativo (como Windows, Mac, Android, o incluso Web).

Dentro de lo que concierne a esta tesina, existen motores de juegos que dan soporte para estos SDKs, adaptando y consumiendo la interfaz del mismo a utilidades del motor. Por ejemplo, una muy común es la traducción de la posición del HMD y los controles del espacio real al espacio virtual del motor, o también la simplificación de las interacciones entre el sistema de RV con una UI en el entorno virtual.

Finalmente, entre algunos de los motores de juegos que brindan soporte para RV podemos encontrar:

- **Unreal Engine:** se trata de un motor de juegos reconocido por ofrecer tecnologías de estado del arte en materia de gráficos 3D muy fáciles de usar. Su adopción en el ámbito del desarrollo de videojuegos también puede atribuirse a su licencia gratuita basada en regalías<sup>15</sup> y su sistema de código basado en nodos llamado "Blueprint". Sin embargo también ofrece una API C++. Posee una comunidad muy activa que brinda ayuda y sugerencias a desarrolladores en diversos foros además de una tienda de assets (recursos del proyecto) muy completa.
- **Unity:** es un motor de juegos con una API C# y motores de renderizado 2D y 3D flexibles, ambas con opciones de gráficos modestos (para plataformas de poco poder cómputo como los smartphones) y gráficos de alta fidelidad. Entre sus herramientas 2D y 3D más comunes están la aplicación de físicas, configuración de luces y creación de sombras en tiempo real y creación de UI. También permite exportar proyectos a casi todas las plataformas comerciales disponibles (Android, Windows, Mac, Web y consolas de videojuegos). Ofrece una licencia gratuita de uso personal o educativo, aunque también posee otras pagas. Por último también cuenta con una tienda de assets de terceros de todo tipo y precios (incluyendo gratuitos).

---

<sup>15</sup> Es gratis de descargar y usar, hasta generar más de 1 millón de dólares en ingresos brutos.



- **Godot** (con plugins de terceros): este motor de juegos tiene una licencia MIT, lo que lo vuelve software libre. Ofrece herramientas 2D y 3D algo limitadas (en comparación con las anteriores). Puede deberse a que fue lanzado en 2014 (casi 10 años después que Unity y casi 16 años después de Unreal) y sus actualizaciones suelen ser comunitarias. Cuenta con su propio lenguaje de programación similar a Python llamado GDScript (Godot Script) aunque también ofrece una API C#. No obstante, posee una comunidad creciente y activa, quienes liberan plugins muy importantes, estando entre ellos Godot VR (por ejemplo). Por último, al igual que los anteriores, posee una tienda de assets.

## 2.3. Herramientas digitales de visualización arquitectónica

Para concluir este capítulo, es preciso realizar un relevamiento de algunas de las herramientas digitales utilizadas en la práctica de arquitectura a fin de destacar características comunes. No obstante, se relevarán únicamente aquellas estrictamente alineadas con los objetivos de la aplicación propuesta y de la tesina. Principalmente se buscó que la aplicación mejore la calidad de la comunicación entre arquitectos y público menos experimentado (particularmente clientes y estudiantes de la carrera). Por lo tanto, aclarar que se desestimaron herramientas de modelado 3D, creación de planos y recolección de requerimientos, entre otras, para enfatizar en herramientas de visualización arquitectónica (motores de render y un motor de videojuegos).

Podemos definir a las herramientas de visualización arquitectónica como aquellas orientadas a la preparación de una escena y su posterior renderizado. Generalmente no se enfocan en edición de modelado 3D (como vértices, caras, etc) sino en el decorado de un inmueble para su presentación, la puesta en escena del mismo y la creación de renders a partir de la misma. A fin de enumerar sus características o herramientas comunes, resulta interesante y necesario realizar un breve relevamiento de ellas. Es importante resaltar que sólo se tuvieron en cuenta aquellas **características disponibles al momento de inicio de la tesina (marzo de 2020)**. Si bien existen multitud de aplicaciones para visualización arquitectónica, dentro del contexto trabajado en esta tesina, sólo se mencionan 4 que contaban con soporte para RV.

### 2.3.1. Lumion

Lumion es un programa de visualización arquitectónica y renderizado 3D que ofrece alta calidad gráfica en sus presentaciones y gran facilidad para obtenerlos. Es un software privativo y su uso se basa en el vuelo a través del modelo cargado al que se le aplican modificaciones suaves (no se alteran los vértices del modelo ni su geometría en general), directas (en el punto de selección con el cursor del mouse) y en tiempo real (los cambios de iluminación y reflejo se calculan en el momento) o a la escena misma (como cambios de iluminación global).

Las herramientas se seleccionan utilizando una GUI minimalista. Permite cargar los tipos de archivo 3D más utilizados en el rubro (como CAD, SKP, OBJ y FBX), colocarlo en un contexto 3D (como una costa, colinas, planicies, etc) y configurar la hora del día, la posición respecto al sol y el clima (soleado, nublado, lluvioso, etc).

Cuenta con una extensa librería incorporada de assets de alta calidad (como mobiliario, vegetación y personas), materiales de alta fidelidad (como tipos de pisos, paredes, cerámicas, etc) y detalles adicionales (como manchas, polvo, etc). Obviamente, permite la colocación de modelos 3D, aplicación de materiales a partes del inmueble y colocación de luces artificiales (o más bien puntos emisores de luz) a través de muy pocos clics en el modelo cargado. La Figura 2.3.1 muestra la colocación de vehículos y un mueble en Lumion.



Figura 2.3.1 - Colocación de assets en Lumion 10 - Fuente ArqManes<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Fuente de ambas capturas de pantalla: <https://www.youtube.com/watch?v=yOLz3WHiyIE>

Sus principales ventajas radican en que:

1. Limita sus configuraciones a las indispensables a la visualización arquitectónica en lugar de presentar al usuario todas las posibles dentro del modelado 3D. Por ejemplo: en lugar de permitirle al usuario modificar manualmente las coordenadas UV de una cara del modelo, sólo le permite configurar dos valores (x e y) para corregir rápidamente errores de escalado. De esta manera, ayuda al arquitecto a enfocar su trabajo únicamente en la presentación de la escena a renderizar.
2. Está configurado desde la instalación para obtener excelentes resultados de alta calidad desde el principio, y los cambios realizados durante la edición son muy cercanos a los finales en el render.

Sus puntos en contra son su **elevado precio y consumo de recursos de HW**, ya que tales resultados requieren tarjetas gráficas muy poderosas.

Por último, si bien cuenta con soporte para cascos de RV, su uso estaba limitado a sólo panoramas 360° más que un recorrido y exploración libres (similar a Google Street View). Por otro lado, ninguna de sus funcionalidades principales estaban disponibles en este modo. La Figura 2.3.2 muestra un ejemplo de estos recorridos.



Figura 2.3.2 - Panorama 360 utilizando un casco de RV y Lumion - Fuente Lumion <sup>17</sup>

### 2.3.2. Twinmotion

Twinmotion es otro de los programas de visualización más completos, desarrollado por Epic Games. Si bien es software privativo cuenta con una licencia gratuita para estudiantes y docentes, además de otras pagas. Destaca en su GUI sencilla y herramientas bien enfocadas, lo que ayuda al rápido aprendizaje de sus funcionalidades. Su uso es casi idéntico al de Lumion, donde se vuela a través del modelo y se aplican cambios directos al

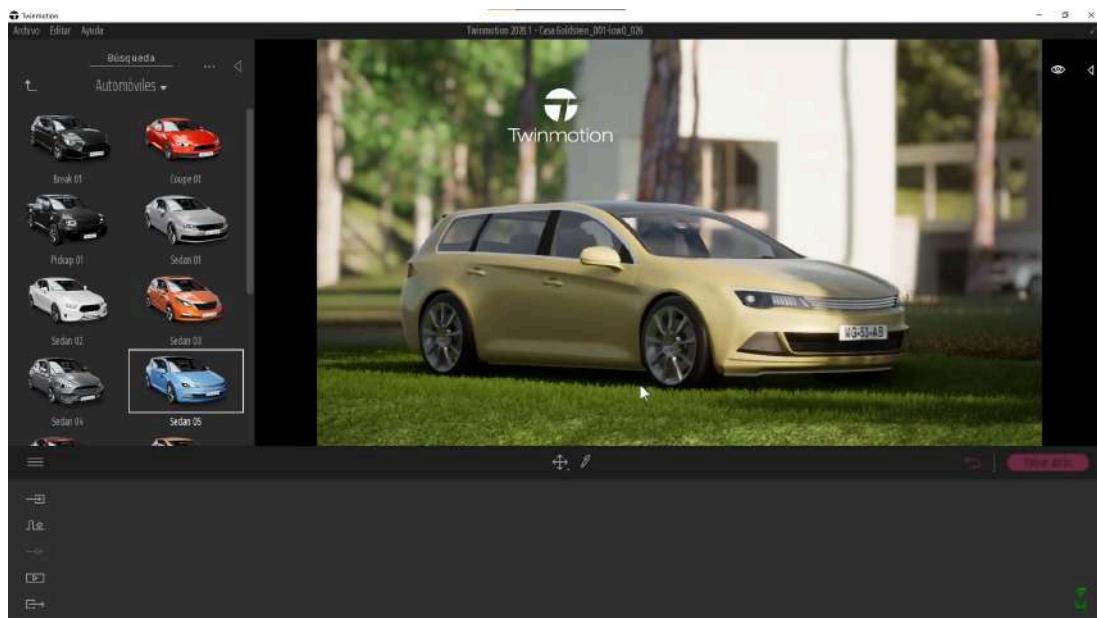
<sup>17</sup> Fuente de la captura de pantalla: <https://lumion.es/panoramas-vr-lumion/>

mismo o a la escena, mientras que las configuraciones se realizan en una GUI plana y siempre visible. Permite importar modelos tipo SKP, OBJ y FBX, y ofrece herramientas de corrección de valores de UVs sencillas.

Tiene una librería de assets incorporada, donde posee muebles de todo tipo, vegetación, personajes, detalles (como manchas, etc) y materiales de alta fidelidad. También permite la configuración de parámetros de la cámara y un motor de renderizado incluido. La Figura 2.4 muestra la colocación de un vehículo y de un mueble en Twinmotion.

Sus principales ventajas son la facilidad de uso y aprendizaje, su excelente calidad gráfica en todo momento y su licencia gratuita (para estudiantes y docentes). Sin embargo, su requerimiento intensivo de HW puede castigar su funcionamiento en computadoras menos potentes.

Por último cuenta con soporte para RV directo en el programa. A la fecha de iniciado el relevamiento, contaba con soporte para Oculus Go y HTC Vive, y a diferencia de Lumion este permitía el recorrido libre por el inmueble haciendo uso de teletransportes. Sin embargo, al utilizar RV sólo permitía interacciones sencillas o básicas con el entorno: cambiar la hora del día (alterando en tiempo real la iluminación global) y aplicar distintas texturas al modelo. No permitía mover objetos por el entorno. Ambas a su vez, estaban simplificadas respecto su versión en PC donde el software ofrecía todas sus demás funcionalidades. Respecto a los controles, Twinmotion asignaba por defecto la mano izquierda para mostrar la UI adaptada y la derecha para teletransporte e interacción con la UI. La Figura 2.4.2 muestra el uso de Twinmotion 2019 en RV.



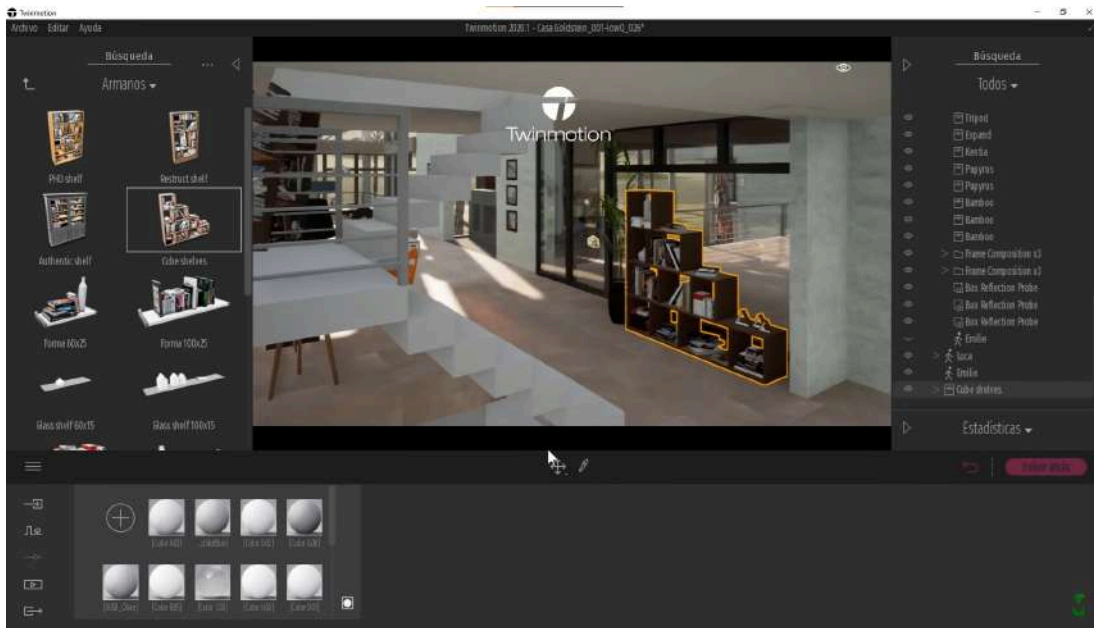


Figura 2.4.1 - Colocado de assets en Twinmotion 2020.2- Fuente ArqManes<sup>18</sup>

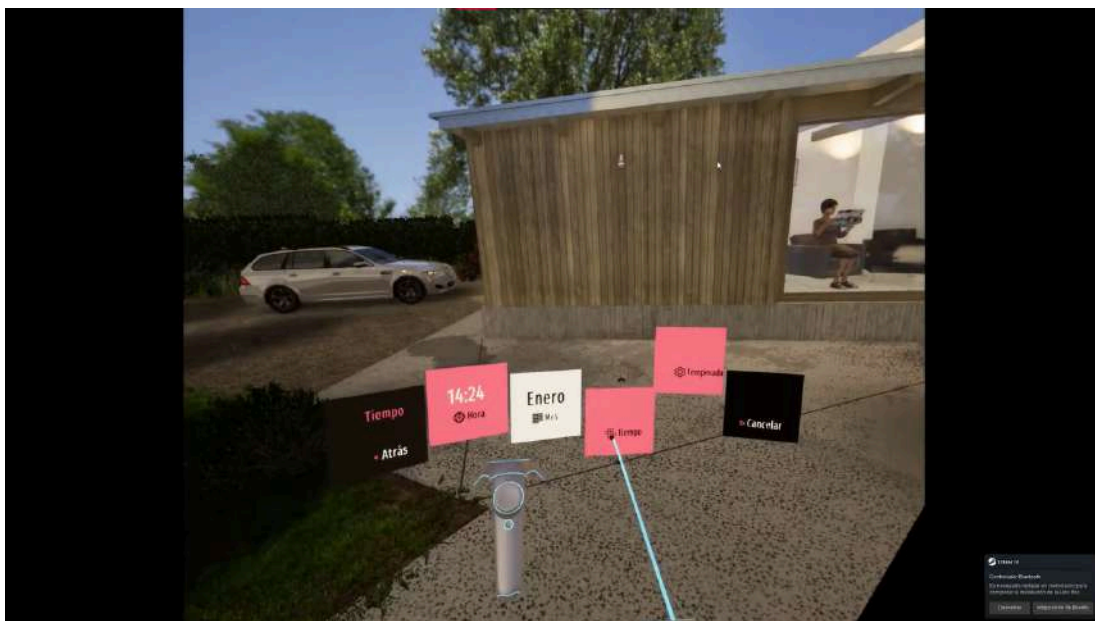


Figura 2.4.2 - Paseo libre usando Twinmotion en RV - Fuente javiermarinvisualizacion<sup>19</sup>

### 2.3.3. Enscape

A marzo de 2020, Enscape era un motor de renderizado distribuido en forma de plugin integrable a modeladores 3D como Sketchup<sup>20</sup>, Revit, Rhino y Archicad. Era una herramienta comercial de código privado, con licencias pagas y una licencia gratuita de prueba válida por tiempo limitado.

<sup>18</sup> Fuente de ambas capturas de pantalla: <https://www.youtube.com/watch?v=yOLz3WHiYIE>

<sup>19</sup> Fuente de la captura de pantalla: <https://www.youtube.com/watch?v=lypNCxAa9Vc>

<sup>20</sup> Es un software de modelado 3D elegido entre arquitectos por su simplicidad de aprendizaje y uso.

Enscape integraba en la UI del modelador 3D sus propias herramientas y permitía visualizar los cambios realizados en tiempo real dentro de una ventana propia. No obstante, desde su ventana no permitía la edición de la geometría del modelo ya que aprovechaba el programa base. En consecuencia, la adición de decoraciones debía realizarse desde el modelador 3D. Desde su ventana permitía atravesar volando el modelo con controles de movimiento. También admitía mejor control en los materiales, aumentando los originales con lógica propia. En la Figura 2.5.1 se observa la edición de materiales en Enscape.

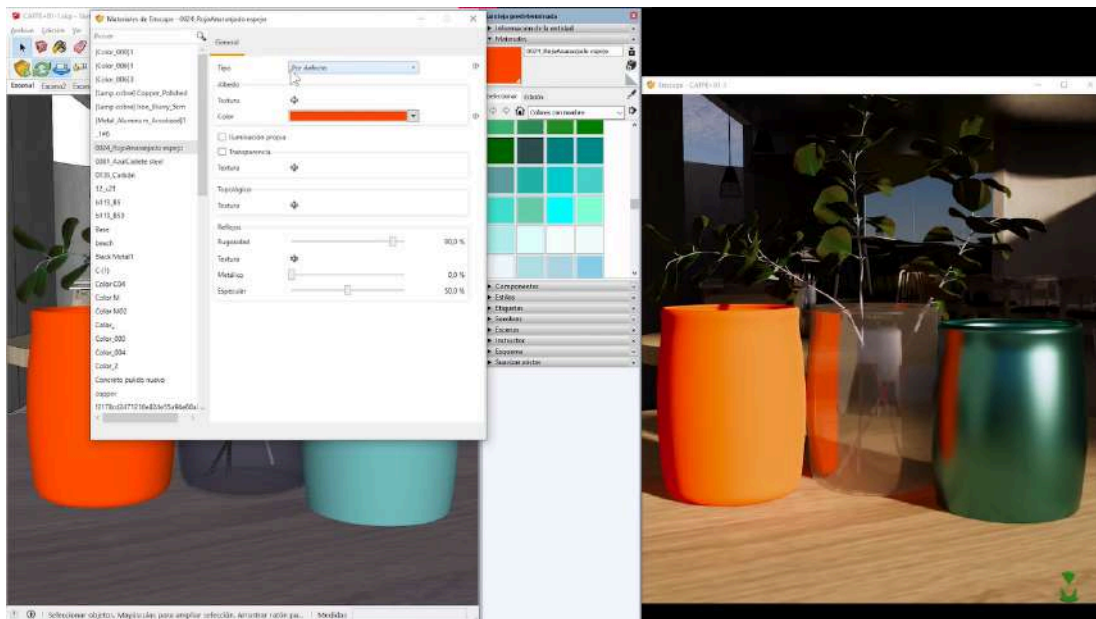


Figura 2.5.1 - Edición de materiales utilizando Enscape - Fuente ArqManes<sup>21</sup>

Además de renderizado de imágenes, también ofrecía la creación de ejecutables portables que permitían a cualquier usuario recorrer libremente el diseño en alta definición incluso si no tenían instalado el modelador base o Enscape. Sin embargo, estos ejecutables no permitían la interacción con el modelo ni su decoración o modificación. La Figura 2.5.2 muestra la ejecución de uno de estos recorridos.

<sup>21</sup> Fuente de capturas de pantalla: <https://www.youtube.com/watch?v=7KM0prj4yuM>



Figura 2.5.2 - Muestra de la ejecución de un ejecutable portable del modelo - Fuente ArqManes<sup>22</sup>

Por último, en relación a la RV, Enscape ya permitía el recorrido libre en RV, aunque de manera muy básica y limitada. Sólo permitía su recorrido usando teletransportes y sobrevolar el modelo. Respecto a interacciones directas, sólo admitía cambiar el horario del día, alterando la iluminación global. La UI era mínima y hacía uso de dos modelos 3D de controles de RV, sobre los cuales se mostraban los nombres de las acciones disponibles y con una línea apuntaban al botón que las ejecutaba. Por último, ofrecía la creación de un ejecutable portable como los explicados anteriormente, pero preparado para RV. La Figura 2.5.3 muestra el uso de Enscape con RV.



Figura 2.5.3 - Recorrido de un inmueble en RV con Enscape - Fuente learn.enscape3d.com<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Fuente de la captura de pantalla: <https://www.youtube.com/watch?v=7KM0prj4yuM>

<sup>23</sup> Fuente de la captura de pantalla: <https://learn.enscape3d.com/blog/best-practices-using-virtual-reality-for-project-presentations-with-enscape/>

### 2.3.4. Unreal Engine

Por último, resulta interesante estudiar el caso de Unreal Engine utilizado en arquitectura. Si bien el motor no está ampliamente adoptado por los profesionales del rubro, existen casos donde se utiliza de forma similar a un motor de renderizado. En lugar de generar imágenes o videos, se utiliza para crear recorridos libres y en primera persona por el inmueble tanto en RV como en PC. Utiliza un controlador de personaje preconfigurado y sistemas de interacción ofrecidos desde el motor. De esta manera, el arquitecto arma una escena recorrible como si creara un nivel de un videojuego. La principal desventaja de este caso de uso recae en la curva de aprendizaje del motor, así como en su interfaz no diseñada para el desarrollo arquitectónico. La interfaz de Unreal Engine y sus componentes están pensados precisamente para ofrecer configuraciones avanzadas dedicadas a programadores y diseñadores de videojuegos, rubros que requieren un mayor entendimiento de las herramientas digitales ofrecidas y su funcionamiento. Ambos factores pueden resultar abrumadores ante un primer contacto en contraposición con los motores de render pensados para la actividad. La Figura 2.6 muestra un fragmento de un recorrido por un inmueble en Unreal Engine 4.



Figura 2.6 - Recorrido de inmueble usando Unreal Engine 4 - Fuente Ederland<sup>24</sup>

### 2.3.5. Resumen del relevamiento

Para finalizar este relevamiento, es posible extraer las siguientes funcionalidades principales de un programa de visualización arquitectónica:

- La muestra del modelo para su decoración debe ser en tiempo real. Cuanto más fotorrealista, mejor.
- Debe incluir una librería de objetos y materiales listos para aplicar y de alta calidad.
- El programa debe ayudar a la preparación de la escena para su renderizado. Esto incluye al menos:

<sup>24</sup> Fuente de la captura de pantalla: <https://www.youtube.com/watch?v=WDzcXf4RYsQ>



- Aplicación de materiales.
- Colocación de objetos como muebles, vegetación, personas, etc.
- Adición y edición de luces. Esto incluye la iluminación global del sol.
- Control de posición de cámara y configuración de sus propiedades para el render.
- La UI debe ser sencilla y enfocada a las herramientas principales.
- Las funcionalidades deben ser limitadas, en virtud de simplificar el uso de la herramienta. En este sentido, no es necesario ofrecer funcionalidades específicas de un modelador 3D ya que muchas veces pueden no resultar necesarias.
- En RV, el software debe permitir al usuario recorrer y explorar libremente el modelo en lugar de llevarlo a través de una serie de puntos predeterminados.

Por otro lado, la principal desventaja que todos estos programas presentaron fue la disparidad de funcionalidades entre plataformas. Es decir, la multitud de herramientas ofrecidas en PC no estaban disponibles dentro de un recorrido en RV. Esto puede ofuscar el flujo de trabajo del arquitecto y la aparición de ideas, ya que resulta necesario cambiar de plataforma (o de programa) para aplicar los cambios pensados. Lo mismo podría ocurrir al realizar un recorrido en RV con clientes, obstaculizando aún más la comunicación.

## Capítulo 3 - CEIT: diseño y tecnologías utilizadas

Como se mencionó en secciones anteriores, los arquitectos usan herramientas visuales para comunicar y reforzar sus ideas acerca del diseño de una obra. Las herramientas más comúnmente usadas en la muestra de diseños no son muy inmersivas, pudiendo causar malentendidos y fricciones con otras personas. Esto se debe a que el público menos experimentado necesita la sensación de presencia en la obra para comprender sus dimensiones y espacios. La RV es una tecnología altamente inmersiva que puede solucionar este problema al momento de la muestra, ya que logra evocar la sensación de presencia faltante en las demás.

A la fecha de inicio del proyecto (marzo 2020) existían programas de visualización arquitectónica con soporte para RV. Contaban con herramientas bien diseñadas y definidas aunque sólo podían utilizarse en PC, lo que limitaba las funcionalidades disponibles en RV a lo básico: moverse por el entorno virtual y cambiar la hora del día (alterando la iluminación global). Además, los software de visualización arquitectónica relevados son de código privado y por lo tanto no extensible, o contienen herramientas de otros campos lo que complica su aprendizaje.

### 3.1. Presentación de CEIT

En este contexto se creó CEIT<sup>25</sup> (acrónimo de “Creador de Entornos Inmersivos Transitables”): un prototipo de programa de visualización arquitectónica disponible para PC y RV. Permite recorrer libremente, desde una perspectiva en primera persona, un modelo 3D de un inmueble y aplicarle modificaciones suaves en tiempo real.

Fue diseñada para para ser fácil de aprender y utilizar:

- El usuario virtual se maneja con controles típicos de los juegos PP<sup>26</sup> y RV.
- Sus herramientas son específicas para la visualización arquitectónica y podrían encontrarse en otros programas.
- Su UI es sencilla, plana y adaptable a ambas plataformas, volviéndola fácil de aprender.

Se buscó que cualquier persona sin experiencia pueda comenzar a utilizarla rápidamente sin mucho entrenamiento. Por otro lado, sus gráficos de alta fidelidad buscan que el usuario logre tener una visión realista y potencial de un futuro proyecto, a la vez que facilitar el estudio y análisis del mismo. También ofrece herramientas que permiten alterar el entorno, cumpliendo un rol complementario al recorrido inmersivo, ya que permiten la visualización del mismo desde nuevas ideas, no necesariamente pensadas por el arquitecto o surgidas espontáneamente. Las herramientas que incluye son: colocación de muebles, cambios de superficies, alteración de la luz solar, toma de medidas y guardado de las modificaciones.

Cuenta con soporte para Windows (en PC) y para Meta Quest 2 (en RV). Se eligió Windows por su disponibilidad y alcance al público general. El Meta Quest 2 se eligió por dos motivos:

---

<sup>25</sup> Código fuente: [https://github.com/agus1010/CEIT\\_final](https://github.com/agus1010/CEIT_final)

<sup>26</sup> Usando teclado y mouse: las teclas w,a,s,d son para movimiento y el mouse para girar la cámara.

contar con la potencia gráfica y accesibilidad necesaria para que la experiencia fuese lo más inmersiva posible y compatibilidad con el motor de juegos Unity.

## 3.2. Principios de diseño

En esta sección se describen los principios básicos de diseño tenidos en cuenta a la hora de implementar CEIT.

### 3.2.1. Herramienta de Comunicación con Clientes

CEIT debe ser una herramienta de comunicación con clientes adicional a las ya utilizadas. La intención es que funcione de manera similar al recorrido de una edificación con un agente inmobiliario. El cliente puede moverse libremente por los entornos virtuales, estudiando los espacios creados, mientras que el arquitecto lo guía por un recorrido preconcebido, enfatizando la atención a detalles que considera importantes. Por motivos de alcance de la tesina, la aplicación no cuenta con modalidad multiusuario en simultáneo, por lo que para guiar al cliente será necesaria la presencia del arquitecto en el mismo espacio físico.

También ofrece funcionalidades que ayudan a la previsualización de espacios y la capacidad de decorarlos y amueblarlos a gusto. Esto ataca directamente la problemática de la proyección y visión del cliente, que por lo general difiere de la del arquitecto. Por lo tanto, y tras consultar con algunos profesionales, se incluyeron las siguientes funcionalidades adicionales:

- Colocar, rotar y remover mobiliario a escala real.
- Aplicar distintos tipos de materiales a cualquier cara del modelo.
- Mostrar la iluminación del sol en tiempo real a diferentes horas del día y orientación geográfica.
- Tomar mediciones entre dos puntos en metros.
- Modo "No Interactivo" para evitar modificaciones no intencionales a la muestra pensada.

A su vez en las muestras con clientes suele utilizarse mobiliario de referencia a modo de ayuda visual. Por ejemplo, en lugar de renderizar un living vacío, muestran el espacio amueblado con sofá, mesa, rack, televisor, cuadros, etc. Queda en evidencia que la aplicación debe contar con un catálogo de muebles y materiales para aplicar o colocar, y dicho catálogo debe contar con variedad suficiente como para probar distintas alternativas. Por otro lado, ya que la aplicación cuenta con la posibilidad de hacer pequeñas ediciones al diseño, sería conveniente adicionar el guardado de cambios. De esta manera el arquitecto puede decorar los espacios antes de la demo, y preparar el recorrido más conveniente.

Por último, recalcar que el objetivo no es modelar o editar inmuebles, sino comprender la espacialidad del mismo, por lo que la aplicación no ofrece herramientas de edición del modelo 3D ya que escapan del alcance de esta tesina. Cabe aclarar que existen numerosas herramientas que ya cumplen dicha función y que son ampliamente utilizadas en

arquitectura. El diseño, dimensiones, modelado y correcta visualización en la aplicación de la edificación quedan bajo la responsabilidad del profesional.

### 3.2.2. Intuitiva

La aplicación debe ser intuitiva para que su incorporación y aprendizaje sean rápidos. Este principio se vuelve evidente al considerar que la aplicación podría ser usada por clientes que jamás estuvieron en contacto con entornos similares. Los usuarios deberían poder explorar libremente el modelo tras colocarse el casco y una breve inducción a los controles.

Por lo tanto, la aplicación debe ser intuitiva tanto para clientes como arquitectos de diferentes edades. Se tomó como referencia productos digitales de uso común hoy en día que han demostrado una rápida adaptación del usuario como:

- Controles e interacciones similares a los de un juego de primera persona, donde todo ocurre desde la perspectiva del usuario hacia el mundo virtual.
- UI (User Interface o Interfaz de Usuario) bien diseñada, con fuente legible, iconografía representativa y colores como refuerzos.

### 3.2.3. Paridad de Funcionalidades entre Plataformas

La aplicación debe ofrecer las mismas funcionalidades en las dos plataformas soportadas, adaptadas a las distintas formas de interactuar con el entorno virtual que admiten. Esto se enlaza con los anteriores principios, ya que posibilita el aprendizaje de sus distintas mecánicas e interacciones en la plataforma de mayor facilidad de uso para usuarios primerizos. Además podría beneficiar el flujo de trabajo e ideas al recorrer el modelo, como se explicó en 2.3.5. Luego, cuando dicho usuario se sienta con confianza en una plataforma, puede pasar a la otra. Esto se ve reflejado en las pruebas descritas en el Capítulo 5, donde se examinan las mismas funcionalidades en ambas plataformas.

## 3.3. Herramientas para la Implementación

Para el desarrollo de CEIT se eligió el visor **Meta Quest 2** como plataforma de RV y el motor de videojuegos **Unity** como base para la aplicación. Para este proyecto se usó la versión LTS 2021.3.18f1 (de Unity) para Windows. A su vez se adicionaron paquetes oficiales, recursos de la tienda<sup>27</sup> y assets de sitios externos. Vale aclarar que en todos los casos se usó la versión más reciente a la fecha de desarrollo.

### 3.3.1. Paquetes Oficiales de Unity

Entre los paquetes oficiales utilizados más importantes se pueden mencionar:

**2D Sprite:** este paquete agrega funciones de recorte y pivoteo de Sprites 2D en el editor. Fue fundamental para la implementación de todos los elementos de UI.

---

<sup>27</sup> Unity Asset Store: <https://assetstore.unity.com/>

**Cinemachine:** provee funcionalidades de movimiento de cámara. Ofrece transiciones entre planos, seguimiento automático de objetivos, ruido ante movimiento, entre otros. Se usó para la cámara de la versión de PC.

**High Definition Render Pipeline (HDRP):** el “modo” de renderizado de alta fidelidad de Unity. Se distribuye en un paquete por separado ya que el motor también ofrece renderizado de menor fidelidad (URP) pero más liviano (ideal para hardware menos potente). Se escogió este modo por sobre URP principalmente por dos motivos:

1. Materiales Unity de mayor complejidad, parámetros y refracción de luz. Por ejemplo: los materiales de este pipeline permite la adición de mapas normales y de altura adicionales al mapa albedo, resultando en un acabado más realista sin agregar geometría al modelo.
2. Iluminación en tiempo real de cuerpos celestes. Esta pipeline permite la renderización del sol y la luna sin mucho esfuerzo del desarrollador. Este ítem fue central en la creación de la herramienta de tiempo.
3. Se optó por una aplicación de tipo tethered para obtener mayor calidad gráfica.

**Input System:** flexibiliza la lectura de inputs del usuario. Los inputs de los dispositivos soportados por la aplicación se mapean a callbacks a través de Scriptable Objects llamados Input Maps. El sistema lee entradas de casi cualquier tipo de dispositivo y permite configurar condiciones y límites para disparar los callbacks. Por ejemplo: el botón izquierdo del mouse y el botón RB del joystick de Oculus podrían mapearse al callback “Fire”, y la aplicación mostrar en pantalla como un objeto cambia de color. Como último comentario, este sistema es tan robusto y flexible que constituye una dependencia de una multitud de paquetes oficiales, incluyendo los “XR”.

**Open XR Plugin:** OpenXR es un estándar abierto y gratuito que provee un conjunto de APIs para el desarrollo de aplicaciones Realidad Mixta que corren en un amplio catálogo de dispositivos de RA y RV. Básicamente, funciona como “driver genérico” entre la aplicación y multitud de dispositivos de Realidad Mixta. Por último, el plugin de Unity es la adaptación entre el motor y el driver.

**XR Interaction Toolkit:** es un sistema de interacciones de alto nivel basado en componentes, pensado para facilitar la creación de experiencias y contenido XR. Su esencia es un conjunto de componentes interactores base e interactuables y un manejador de interacciones que une ambos tipos. Entre sus utilidades más importantes para este proyecto están:

- Input de controles XR multiplataforma: Meta Quest (Oculus), OpenXR, Windows Mixed Reality y más.
- Apuntado básico de objetos y renderizado de línea de interacción.
- Interacción básica con canvas UI con controles XR.
- Una utilidad de cámara de RV para un usuario, con capacidad de movimiento estacionario y continuo.

### 3.3.2. Recursos de terceros

Se utilizaron diversos recursos (assets en inglés) de terceros debido a limitaciones artísticas propias y de tiempo. Todos fueron obtenidos de manera gratuita a través de distintos medios excepto cuando contraindicado.

**Modelo 3D de la Casa Farnsworth:** se trata de un modelo 3D creado y cedido en formato FBX y OBJ por el arquitecto Lautaro Eugenio Garritano de la histórica vivienda diseñada por Ludwig Mies van der Rohe. Se pudo contar con este modelo desde las etapas tempranas del desarrollo de CEIT, volviéndolo fundamental para la creación y depuración de todas sus funcionalidades. Además fue utilizado para la toma de las capturas de pantalla del presente escrito, apareciendo en la mayoría de figuras, imágenes y tablas del próximo capítulo.

**Tipografía Futura Family:** es el tipo de fuente utilizado en toda la interfaz de usuario de todo CEIT.

**Modelos 3D de los controles del Meta Quest 2:** obtenidos gratuitamente de la plataforma Sketchfab. El Autor y el link al recurso pueden encontrarse en el Anexo II.

Por otro lado, también se utilizó la Asset Store de Unity. El link a todos los recursos aquí listados se encuentran en el Anexo II.

**Trilib 2:** una librería de pago, que permite la carga en tiempo de ejecución de modelos 3D a la aplicación. Esta segunda versión es compatible con HDRP, dispara callbacks ante la carga de los distintos elementos del modelo y permite personalizar algunos parámetros de la carga de modelo en sí, como tipo de formato 3D, tiempo de timeout, tiempo para garbage collection, carga asíncrona, etc. Por último admite una gran variedad de formatos de archivos 3D, siendo los usados en este proyecto FBX ASCII y OBJ.

**Skybox Series Free:** ofrece una multitud de mapas High Dynamic Range Image (HDRI)<sup>28</sup> gratis, usados como skybox en HDRP. Se utilizó uno de ellos para la escena de selección de mapas (HUB).

**Pack Gesta Furniture #1, HDRP Furniture Pack y Basic Bedroom Starterpack:** paquetes de modelos 3D con diversos elementos de mobiliario, gratuitos y compatibles con HDRP. Se usaron para el catálogo de Mobiliario.

**StarterAssets - FirstPerson:** utilidad para prototipado rápido en PC de experiencias en primera persona creado por Unity. Provee un controlador de jugador con movimiento y control de cámaras con Cinemachine, mapa de inputs (de Input System) preparado, y un escenario de testeo de funcionalidades básico.

**Floor Textures - 4k y World Materials Free:** dos paquetes gratuitos de materiales de alta fidelidad y compatibles con HDRP. Se usaron en el catálogo de superficies.

---

<sup>28</sup> Es una imagen de 360° que se envuelve alrededor de una imagen o modelo 3D para producir iluminación o un fondo distante en un entorno virtual.

Por último también se obtuvieron multitud de assets de los siguientes portales:

**FlatIcon.com y Freepick.com:** dos librerías de íconos. Se usaron como punto de partida para los íconos finales de la UI, ya que la mayoría de diseños finales fueron editados, combinados y coloreados por el tesista. En el Anexo II pueden encontrarse los links junto a sus autores, de todos los íconos utilizados para la creación de esta tesina.

**FreeSound.org:** una librería web colaborativa de muestras de audio y licencia CC0<sup>29</sup>. Se combinaron muestras de pájaros, viento y sonidos “abstractos” para el sonido del libre recorrido y del hub.

**Polyhaven.org:** un repositorio web colaborativo con decenas de modelos 3D, materiales y HDRIs con licencia CC0. Se utilizaron para el catálogo tanto de muebles como superficies.

**Emojiterra.com y Wikimedia.org:** se usaron un emoji de mate y un diagrama de teclado (respectivamente).

### 3.3.3. Otras herramientas

Por último mencionar dos herramientas libres utilizadas:

**Gimp:** editor de imágenes de licencia libre. Se usó en la edición de los íconos de la aplicación.

**Audacity:** un editor y mezclador de sonido de licencia libre. Se usó en la creación de dos pistas de audio, una con sonidos de naturaleza y una con sonidos “abstractos”.

---

<sup>29</sup> Creative Commons Zero: licencia de dominio público que no impone atribución al autor original.

# Capítulo 4 - CEIT: Implementación

El plan de acción para la construcción de la aplicación consistió en diseñarla como diferentes subsistemas agnósticos del tipo de input y crear una capa de integración de hardware que tradujera inputs a mensajes de las distintas APIs. Esto permitió desarrollar la misma aplicación para ambas plataformas de una vez, adaptando la forma de interacción al input del dispositivo usado.

De ahora en más:

- Léase “En RV” como sinónimo de: “Dentro del Entorno Virtual al percibirlo con Hardware de Realidad Virtual”.
- En general, no se hablará respecto de APIs sino que el enfoque estará en las distintas funcionalidades implementadas desde el punto de vista del usuario.
- Se utilizarán capturas de RV y PC para facilitar la comprensión de las distintas funciones que ofrece la aplicación.

## 4.1. Flujo de Usuario

El flujo de usuario consta de 4 etapas y es idéntico en ambas plataformas. La Figura 4.1 muestra un diagrama del mismo donde pueden observarse 2 tipos de transiciones: las automáticas, que cambian de etapa al culminar ciertos procesos, y las manuales, que requieren confirmación del usuario a través de la interfaz de usuario.

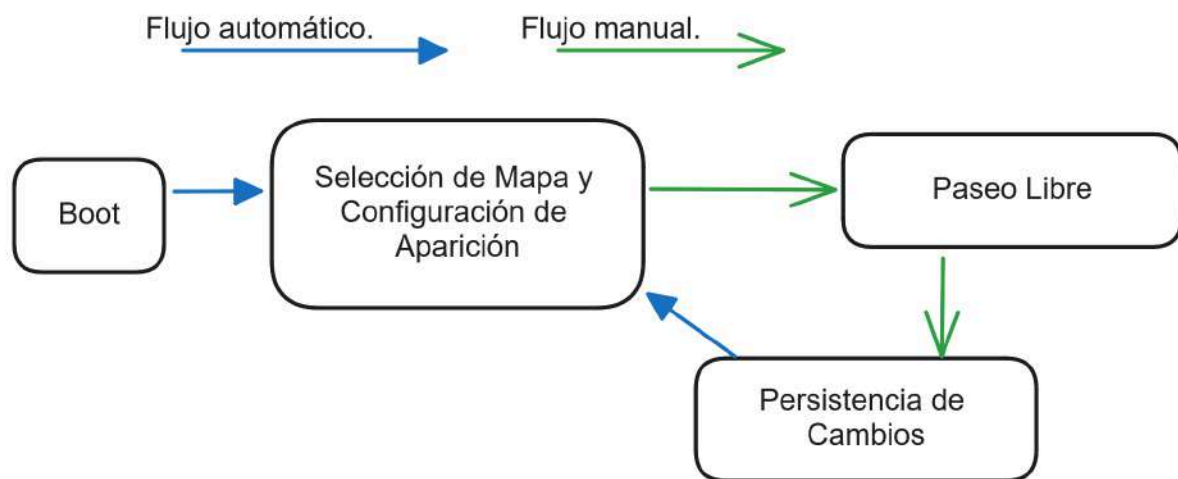


Figura 4.1 - Flujo de Usuario

La **etapa de Boot** tiene dos fines: detectar el hardware de entrada y cargar todo lo necesario según corresponda. Funciona de la siguiente forma: si hay un dispositivo de RV conectado, cargará los módulos y objetos necesarios para tener la experiencia completa en RV. Caso contrario, hará lo mismo pero específico para PC. En consecuencia, para cambiar de plataforma, basta con prender/apagar el dispositivo de RV y reiniciar la aplicación. Ya que la aplicación necesita de una computadora de escritorio para funcionar (renderiza en PC), la plataforma por defecto siempre será PC.



La **etapa de Selección de Mapa y Configuración de Aparición**: una vez completada la carga, el usuario es colocado frente al Selector de Mapas (un flujo de UI que se explicará más adelante). Si bien este elemento de UI se desarrolla en profundidad más en la sección 4.6.3, a grandes rasgos consiste de 4 pasos:

1. Elección del archivo.
2. Configuración del suelo.
3. Elección del punto de aparición.
4. Carga y aparición en el mapa.

Es importante resaltar que:

- En esta etapa se le quitan al usuario las capacidades de movimiento e interacción con su entorno (excepto con el Selector de Mapas). Adicionalmente en PC, la cámara queda fija en dirección al Selector.
- Se espera que el mapa cargado no cuente con mobiliario. En caso de contenerlo la aplicación lo tratará como parte del modelo y no será posible interactuar con ellos (excepto cambiarle la superficie).
- La carga del mapa incluye los cambios realizados en anteriores sesiones.

Finalmente, la etapa concluye con el usuario dentro del mapa, en el punto seleccionado, con todos los cambios previos cargados (de haberlos) y otorgando la libertad de movimiento e interacción al usuario.

En la **etapa de Paseo Libre** el usuario puede explorar el mapa con total libertad. Se le habilitan todas las funcionalidades disponibles en la aplicación para hacer lo que quiera a su antojo.

Es importante aclarar que la aplicación guarda cambios de forma manual. Para ello, el usuario debe dirigirse al menú "Pausita" y seleccionar alguna de las dos opciones de guardado disponible: "Guardar y volver a la selección de mapas" o "Guardar y salir". Como bien indica su nombre, el primer botón completa el bucle de la aplicación, regresando al usuario al Selector de Mapas.

Por último, antes de regresar al usuario al paso 2 (o cerrar la aplicación, según corresponda) se ejecuta la **etapa de Persistir Cambios**, donde se guardan los cambios realizados durante el paseo. No se escriben sobre el archivo del modelo original, sino que se persisten referencias a:

- Objetos de CEIT instanciados.
- Superficies alteradas actuales.
- Hora del día y orientación geográfica.

## 4.2. Entornos Virtuales

CEIT cuenta con dos entornos virtuales orientados a diferentes propósitos.

El primero es el **HUB**, que fue destinado a recibir al usuario apenas iniciada la aplicación y habilitar la selección de mapas y configuración del paseo. Consta de un elemento de UI llamado Selector de Mapas que forma parte del entorno y un HDRI que envuelve todo y completa la sensación de inmersión en la aplicación.

Se consideraron los siguientes criterios para seleccionar el HDRI:

- Que atrajese la mirada del usuario hacia el selector contrastando fácilmente con el mismo.
- Que no cause vértigo, sensación de caída o claustrofobia.

Finalmente el que se eligió simula una niebla colorida de dos colores predominantes: simil-dorado y simil-cyan. El mismo puede observarse en la Figura 4.2 (a).

El segundo entorno es el **Paseo**. Su propósito es alojar el inmueble seleccionado y permitir su libre exploración y uso de interacciones (más adelante). Cuenta con iluminación global dinámica (las sombras se calculan en tiempo real) cuya fuente de luz es el sol y con cielo nocturno en caso de ocultarlo con una interacción. A su vez el cielo aparece siempre despejado. Todo esto puede apreciarse en la Tabla 4.1.

A su vez posee un Suelo: un colisionador plano, invisible y de gran extensión que se coloca por defecto en la parte inferior del modelo y cuya función es prevenir que el usuario experimente una caída infinita al exceder los límites del inmueble cargado. Es posible añadirle un material que simula césped usando las configuraciones del Selector de Mapas. Esto se pensó para ofrecer flexibilidad a los arquitectos, ya que es usual que añadan el entorno al inmueble en sus modelos o incluso permitir proyectos con sótanos o desniveles de terreno (Figura 4.2 (b)).

06:00	08:30	13:00	18:00	00:00
				

Tabla 4.1 - Iluminación dinámica en distintos horarios

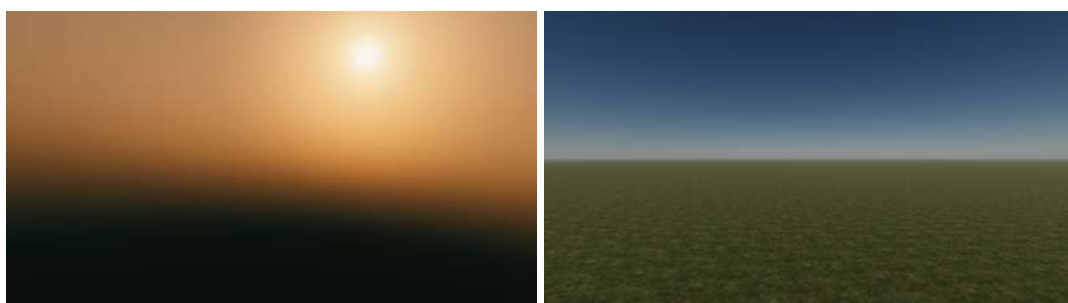


Figura 4.2: (a) Entorno virtual: Hub - (b) Entorno virtual: Paseo (con suelo)

### 4.3. Acciones

Las acciones representan la intención del usuario de manera agnóstica al tipo de dispositivo. El mecanismo asocia múltiples tipos de inputs a eventos que realizan llamados a la aplicación (Figura 4.3). Por ejemplo: la acción MOVER está asociada a las teclas W, A, S y D del teclado en PC y a las inclinaciones del stick izquierdo en RV. Sin importar el tipo de input, la aplicación responderá a la intención del usuario: moverse por el entorno virtual.

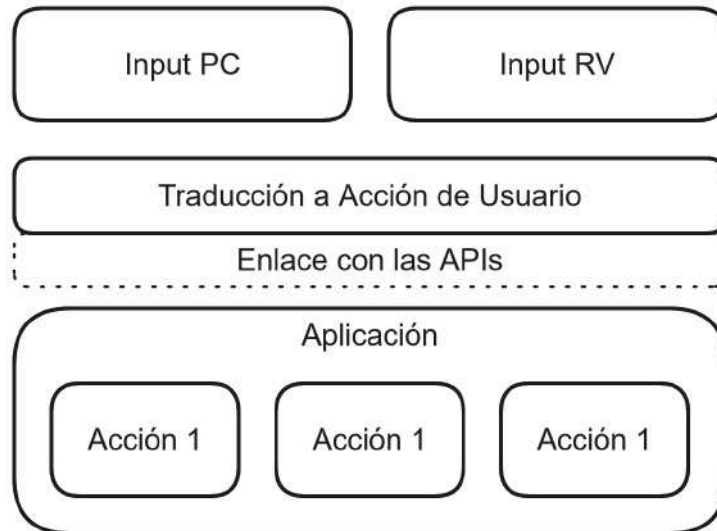


Figura 4.3 - Arquitectura interna para la traducción de Inputs a Acciones

A su vez, las acciones se clasifican en categorías:

- **Usuario:** acciones cuya reacción afecta el movimiento y la visión del usuario en el entorno virtual.
- **UI:** permiten interactuar con elementos de la UI.
- **Paleta:** cambian el elemento seleccionado de una de las paletas.
- **Interacción:** son el enlace entre un input y la interfaz de las interacciones.

En la Tabla 4.2 se especifica la categoría de todas las acciones implementadas.

<b>Usuario:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MOVER</li> <li>● SALTAR</li> <li>● CORRER</li> <li>● MIRAR</li> </ul>	<b>Paleta:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● CAMBIAR INTERACCIÓN</li> </ul>
<b>UI:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● SELECCIONAR</li> <li>● ARRASTRAR</li> <li>● MOSTRAR INFORMACIÓN</li> <li>● PAUSA</li> <li>● MENÚ DE PESTAÑAS</li> <li>● RUEDA DE INTERACCIONES</li> </ul>	<b>Interacción:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● PRIMARIA</li> <li>● SECUNDARIA</li> <li>● CAMBIAR VALOR</li> </ul>

Tabla 4.2 - Todas las Acciones de la Aplicación catalogadas en su tipos correspondientes

## 4.4. Usuario Virtual

Cada plataforma implementa un controlador de usuario virtual propio, adaptado a las demandas del hardware ofrecido. Sin embargo, en rasgos generales, ambos usuarios virtuales permiten:

- Movimiento horizontal libre y gravedad aplicada.
- Control de visión en primera persona.
- Capacidad de apuntar a objetivos.

Tanto el movimiento horizontal como el control de la visión tienen inputs asociados, los cuales se detallan en la Tabla 4.3. Es importante adelantar que no se asignaron inputs en RV para CORRER y SALTAR debido a que causaban mareo por movimiento (se ahondará en esto en la sección 4.4.2 sobre movimiento). Por último, al realizar este mapeo se buscó que los controles asignados fuesen similares a los de videojuegos en primera persona (PP) de PC y RV.

Acción de Usuario	PC	RV
MIRAR	Mouse	Movimientos de Cabeza o Stick Derecho (Snap)
CAMINAR	W, A, S y D	Stick Izquierdo
CORRER	Shift + (W, A, S o D)	<i>(no asignado)</i>
SALTAR	Espacio	<i>(no asignado)</i>

Tabla 4.3 - Inputs asignados a las Acciones de Usuario

### 4.4.1. Representación del usuario en el entorno virtual

El cuerpo del usuario virtual está conformado por un colisionador invisible, mientras que la cámara virtual está posicionada justo a la altura de los ojos. Esta técnica es muy frecuentemente utilizada en videojuegos con perspectiva en Primera Persona (PP) y de RV, donde la posición del cuerpo del usuario virtual está justo debajo de su visión.

En RV se añadieron modelos 3D de los mandos del Meta Quest 2, representativos de la posición y orientación de las manos del usuario en el entorno físico (Figura 4.4). Se optó por modelos de los mandos en lugar de (por ejemplo) manos para ayudar a recordar al usuario la posición de cada uno de los diferentes botones, técnica empleada por la aplicación ShapesXR en la que fue inspirada.

Por último ambos controladores de usuario cuentan con gravedad aplicada, facilitando el uso de rampas y escaleras.



**Figura 4.4 - Vista de los mandos virtuales -  
Fuente del modelo 3D de los controles: Sketchfab - Autor en Anexo II**

#### 4.4.2. Control de la visión

Ambas plataformas admiten el control continuo sobre la cámara virtual. Es decir, al girar o rotar la cámara no percibe interrupciones en la continuidad de la imagen o cambios de plano, sino una proyección de lo que tiene enfrente tal y como esperaría en la realidad.

Naturalmente se optó por utilizar el casco de RV como medio controlador de la cámara virtual en dicha plataforma. Sin embargo este enfoque puede resultar incómodo en casos donde el usuario, por ejemplo, deseara estar sentado o no contara con la motricidad necesaria para girar la cabeza. Por ello se incorporó la opción de realizar giros discretos de 45° con tan solo mover el stick derecho, más comúnmente llamada como "Snap Turn".

En PC se optó por movimientos del mouse para controlar la cámara. Esta decisión va de la mano de semejar los controles a los esperados en un videojuego en primera persona.

#### 4.4.3. Características del movimiento

Ambas plataformas permiten al usuario moverse en cualquier dirección horizontal continua e indefinidamente, y a una velocidad máxima configurable. Al intentar moverse, el usuario percibe una aceleración gradual en la dirección del input, hasta llegar a la velocidad máxima. Esta pequeña configuración intenta ayudar a reducir el mareo por movimiento (motion sickness). Si bien en esta tesina no se realizaron pruebas cuantitativas dedicadas a este tópico, es posible afirmar que ayudó a disminuir significativamente la aparición de dicho mareo durante el desarrollo y testeo de funcionalidades.

A su vez, los usuarios virtuales perciben la gravedad (un empuje vertical descendente continuo) y permiten la subida de escalones de hasta 35 cm de altura automáticamente. Esto facilita el uso de escaleras diagonales y rampas de un modelo incentivando una

exploración más natural, a la vez que flexibiliza la clase de inmuebles recorribles. Por ejemplo, sin estas dos propiedades, sólo se podrían recorrer inmuebles sin escaleras y no sería posible descender luego de usar una.

Por otro lado el usuario es sólido por lo que al moverse, no se detendrá hasta que:

- colisione contra otro objeto al que no puede subir o
- el usuario deje de ingresar el input correspondiente.

La combinación de todos los factores mencionados busca reforzar la sensación de inmersión del usuario al transmitir un movimiento cercano al esperado naturalmente.

Por último, en la versión de PC se agregaron las capacidades de saltar y correr como complemento para los recorridos. Sin embargo, no fueron implementadas en la versión de RV ya que suelen inducir rápidamente al mareo por movimiento.

#### 4.4.4. Método de apuntado a objetos

Para que el usuario sea capaz de apuntar a objetivos se implementó el Puntero del Usuario. Tal y como su nombre indica, es el mecanismo por el que CEIT conoce en todo momento un punto señalado por el usuario y si dichas coordenadas 3D corresponden a un objeto. Reconoce dos tipos de objetos:

- Sólidos: todos los objetos con un colisionador no atravesable. No pueden ocupar el mismo espacio que otro sólido.
- UI: elementos de la interfaz gráfica.

El mecanismo consiste en (por cada fotograma):

1. Ejecutar una operación Raycast (lanzar un rayo rectilíneo desde una posición y dirección particular y retornar todos los objetos interceptados por él).
2. Seleccionar el objeto sólido o de UI más cercano al origen y que esté dentro del rango de alcance configurado por el usuario.

Esta funcionalidad es sumamente útil para determinar la intención del usuario al accionar ciertos inputs solapados entre acciones. Por ejemplo, en PC la acción de UI "SELECCIONAR" tiene asociada el mismo input que la acción de interacción "PRIMARIA". Al ingresar la entrada correspondiente se disparan ambas acciones al mismo tiempo, y luego la aplicación determina a cuál debe reaccionar dependiendo del objeto apuntado.

Ambas plataformas utilizan este mecanismo, aunque difieren en el método para disparar el raycast. La Tabla 4.4 detalla los métodos empleados en cada plataforma (note que en PC el puntero tiene 2 modalidades que se intercambian contextualmente).

En PC	<b>Bloqueado:</b> el cursor del mouse se vuelve invisible y se mantiene en el centro de la pantalla. El raycast se origina en el centro de la cámara virtual del usuario y se dispara en la dirección hacia adelante relativa a la misma. De esta manera se consigue la sensación de interacción en primera persona, y por eso se usa durante el paseo.
	<b>Libre:</b> el cursor del mouse se vuelve visible y se libera su movimiento por la pantalla. Se pensó para su uso exclusivo con la UI, más particularmente con las ventanas principales que se detallarán más adelante, permitiendo una experiencia más cómoda y cercana al uso cotidiano.
En RV	El raycast se origina en la posición virtual de la mano derecha del usuario y se dispara en la dirección hacia adelante relativa a la misma.

Tabla 4.4 - Mecanismos de creación de raycasts en PC y RV

## 4.5. Tipos de ítems y paletas de ítems

En CEIT, un ítem se define como una estructura de datos que contiene como mínimo un id, un nombre y una imagen. El campo Id es útil para el sistema de guardado, los atributos Nombre e Imagen son útiles para la identificación rápida por el usuario.

Se implementaron tres tipos de ítems: Objeto CEIT, Superficie e Interacción. La Figura 4.5 muestra esta jerarquía de objetos.

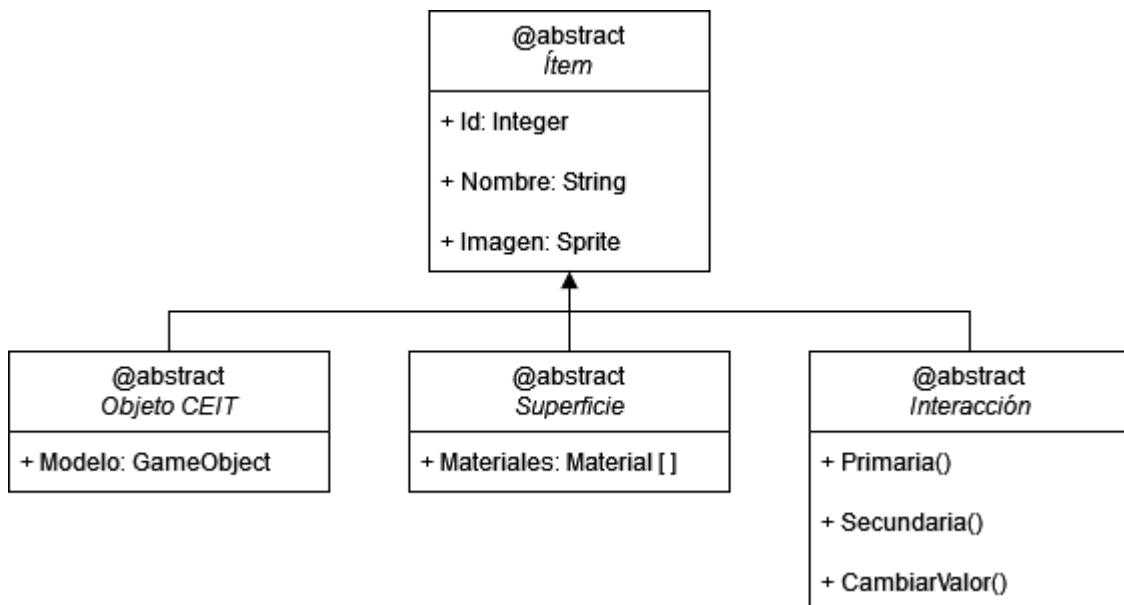


Figura 4.5 - Diagrama UML simplificado de la jerarquía de objetos tipo ítem

### 4.5.1. Objetos CEIT

Representan mobiliario a escala real. Su implementación es una clase abstracta que contiene un modelo 3D (un Prefab de Unity). A su vez se implementaron 5 subclases que representan tipos de mobiliario más concreto: Electrodoméstico, Decoración, Mueble, Lámpara y Planta.

La mayoría de Objetos CEIT son sólidos y cuentan con gravedad aplicada, siendo las excepciones casos donde se siente natural que dichas propiedades no estén activas.

Ejemplo 1: si un usuario decidiera colocar un Aire Acondicionado seguramente intentaría dejarlo contra una pared y elevado del suelo. En este caso es natural esperar que no caiga al suelo, por lo que no se le aplica gravedad.

Ejemplo 2: si un usuario quisiera poner una alfombra en el piso debajo de una mesa ratona, esperaría que dicha mesa no quedase elevada del suelo. Para ello se hizo "no sólida" el objeto alfombra.

Por otro lado, sólo las lámparas emiten luz. Esto es notable cuando la iluminación global es lo suficientemente oscura (Figura 4.6). No obstante, la iluminación proporcionada no busca ser una imitación perfecta de como funciona en la realidad sino que es meramente ilustrativa.

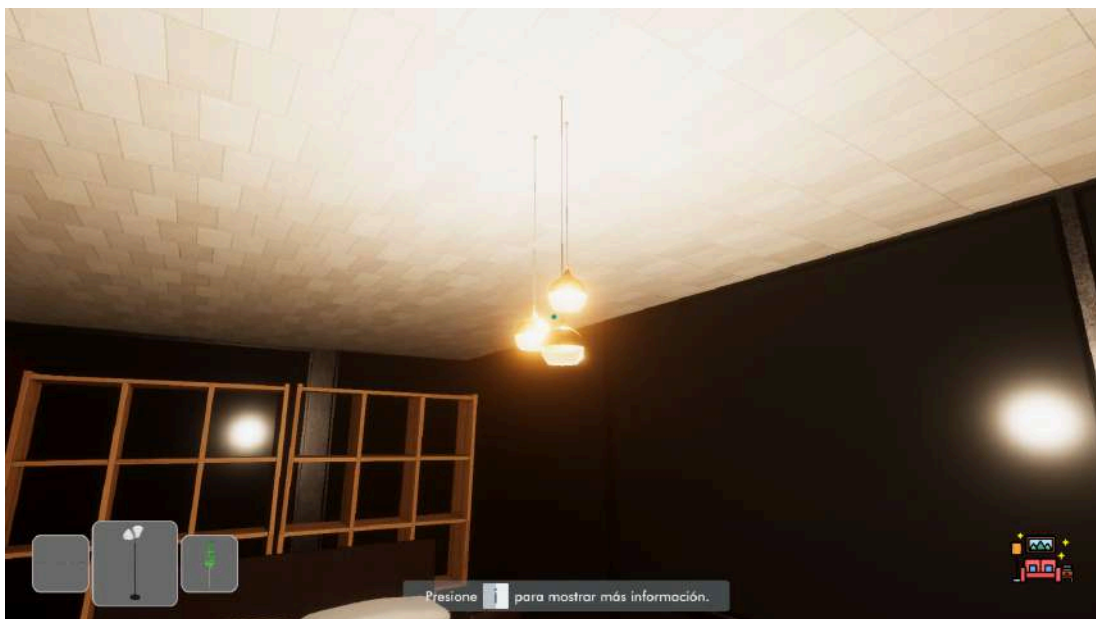


Figura 4.6 - Lámparas de techo emitiendo luz

Por último, cada tipo de objeto CEIT cuenta con su propio ícono distintivo. Esto cobra mayor relevancia en la sección 4.6.6.2. La Tabla 4.5 muestra dichos íconos.





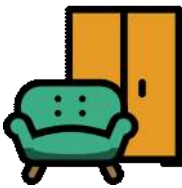


Electrodoméstico	Decoración	Mueble	Lámpara	Planta
				

Tabla 4.5 - Todos los íconos de las categorías de Objeto CEIT -  
Fuentes de los íconos originales: FlatIcon y FreePik - Autores y links en Anexo II

#### 4.5.2. Superficies

Las superficies representan los materiales y texturas de objetos. Buscan imitar materiales reales por lo que ninguna de ellas está animada ni emite luz. Por otro lado, una de las ventajas de usar el modo de renderizado HDRP es la cantidad de parámetros configurables de los materiales en Unity. Esto permitió añadirle relieve a todas y algunas de ellas reflejan la luz o son transparentes aunque CEIT no cuenta con trazado de rayos.

En su implementación son una clase abstracta que contiene un arreglo de materiales de Unity, los cuales son los que se renderizan al usarla. Pueden aplicarse en cualquier objeto sólido en el paseo como las paredes del inmueble o algún objeto CEIT como un sofá. A su vez, cada sólido mantiene un historial de superficies aplicadas en forma de pila, siendo la primera la superficie original y la última la actualmente mostrada.

Se implementaron 8 categorías concretas de superficies, cada una con un ícono representativo (Tabla 4.6): Ladrillo, Revestimiento, Tela, Vidrio, Metal, Suelo, Azulejo y Madera. A su vez, cada categoría posee 5 o más superficies.

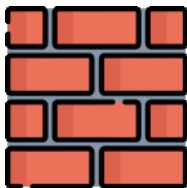



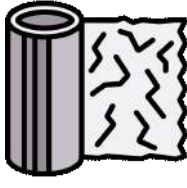


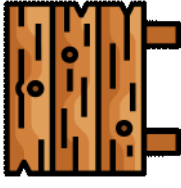
Ladrillo	Revestimiento	Tela	Vidrio
			
Metal	Suelo	Azulejo	Madera
			

Tabla 4.6 - Todos los íconos de las categorías de Superficies -  
Fuentes de los íconos originales: FlatIcon y FreePik - Autores y links en Anexo II

### 4.5.3. Interacciones

Si bien se explicarán más en detalle en la sección 4.7, las interacciones son las herramientas de transformación suave otorgadas al usuario. Son intercambiables y se ejecutan en la posición apuntada (como se explicó en 4.4.4). Se implementaron 6 tipos concretos de interacción cada una con un ícono propio y una versión contorno del mismo, ambos utilizados en diferentes menús de la UI. La Tabla 4.7 muestra dichos íconos y su contorno.








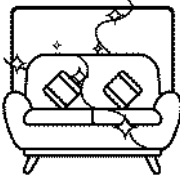




Interacción	Color	Contorno
Paseo Libre		
Colocar Objeto		
Remover Objeto		
Aplicar Superficie		
Tomar Medida		
Mover el Sol		

Tabla 4.7 - Todos los íconos de interacciones y su versión de contorno -  
Fuentes de los íconos originales: FlatIcon y FreePik - Autores y links en Anexo II

#### 4.5.4. Paletas de Ítems

Una paleta es una colección de Ítems del mismo tipo. Posee 5 características distintivas:

- Siempre tiene un elemento marcado como seleccionado (por defecto el primero).
- Solo puede haber un elemento seleccionado a la vez.
- Siempre es posible seleccionar otro elemento, lo que deselecta el anterior.
- Admite lectura por acceso directo.
- Se enumera de forma circular (siendo N el total de elementos y 0 el primer elemento de la colección, el elemento anterior al 0 es el N-1 y el siguiente al N-1 es el 0)

Se crearon 3 paletas en CEIT, una para cada tipo de ítem:

La **paleta de objetos CEIT** está conformada por una selección de los muebles más frecuentes de un living y de un dormitorio. En total ofrece 52 objetos entre los que se pueden encontrar: aire acondicionado, camas, lámparas, mesas, sillas, alfombras, distintos tipos de plantas, un televisor, y demás.

A la **paleta de superficies** la componen materiales frecuentes en cualquier tipo de inmueble y complementarias a las categorías de objetos. En total cuenta con 98 elementos entre los que se encuentran distintos tipos de parquet, azulejos de cocina, baldosas de patio, concreto perforado, tela de jean y cuerina, entre otros.

El usuario sólo puede modificar el elemento seleccionado de las anteriores paletas a través de:

- Las interacciones “Colocar Objeto” y “Aplicar Superficie” respectivamente (esto se detalla en la sección 4.7.1 y 4.7.3).
- La UI, más precisamente en el menú de pestañas (se detalla en 4.6.6).

Por último, la **paleta de interacciones** está compuesta por todas las interacciones de CEIT en el orden mostrado por la Figura 4.7, siendo “Paseo Libre” la primera de la misma. Es la única paleta que puede ser modificada directamente por el usuario a través de una Acción (indicada en la Tabla 4.8). Al dispararla, la interacción seleccionada pasa a ser una de las consiguientes a la actual. Esto busca ofrecer un acceso rápido a otras interacciones sin necesidad de abrir una ventana de la UI.

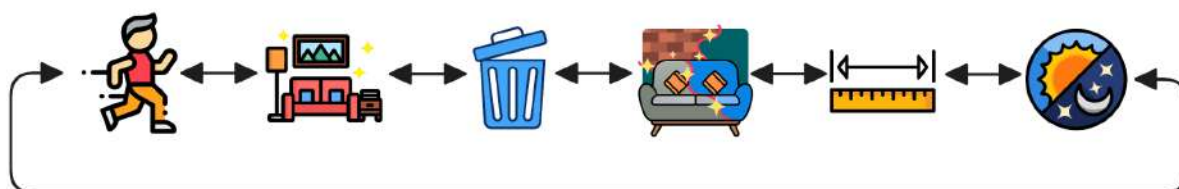


Figura 4.7 - Disposición de la Paleta de Interacciones

Acción de Paleta	PC	RV
Cambiar Interacción	Q y R	X e Y

Tabla 4.8 - Inputs de la Acción de Paleta “Cambiar Interacción”

## 4.6. Interfaz de Usuario (UI)

Se diseñó una UI minimalista, simple, basada en ventanas y que enfatiza la visión del usuario en todo momento hacia el inmueble recorrido, a la vez que permite el acceso rápido e intuitivo a todas las configuraciones disponibles. Se tomaron de referencia la GUI de Windows, la de algunos juegos en primera persona de PC y la aplicación ShapesXR para Meta Quest.

El proceso de implementación de la UI constó de las siguientes fases:

1. Diseño.
2. Implementación para PC.
3. Testeo en PC.
4. Adaptación de lo implementado a RV.

Una vez más, todos los elementos que se describirán en este título son funcional y estéticamente equivalentes en ambas plataformas, y por lo tanto, en virtud de facilitar su explicación, se usarán mayoritariamente capturas de pantalla realizadas en PC.

Por último, cabe aclarar que de ahora en más cuando se indique mano derecha o izquierda, en realidad se hace referencia a los controles respectivos dentro del entorno virtual.

### 4.6.1. Componentes Compartidos

A continuación se detallan dos elementos presentes en la mayoría de ventanas.

- **Botón "Cerrar"**: como su nombre lo indica, al cliquear cierra la ventana abierta en ese momento. Busca asemejarse al botón de la GUI de Windows ya que siempre se muestra en la esquina superior derecha de la ventana a cerrar. Los íconos utilizados se muestran en la Tabla 4.9.

Idle	Hovered	Clicked
		

Tabla 4.9 - Estados visibles del Botón "Cerrar"

- **Botón "Ayuda"**: activan/desactivan las ayudas contextuales disponibles. Los íconos de sus distintos estados se muestran en la Tabla 4.10.




Idle	Hovered	Clicked / Selected
		

Tabla 4.10 - Estados visibles del Botón "Ayuda" -

Fuentes de los íconos originales: FlatIcon y FreePik - Autores y links en Anexo II

- **Modal de Ayuda:** estas ventanas están presentes en la mayoría de menús con multitud de opciones o pasos. Por defecto no son visibles y se activan al clicar un botón "Ayuda". La Figura 4.8 muestra un ejemplo indicando los elementos característicos de estas ventanas.



Figura 4.8 - Elementos de un Modal de Ayuda

#### 4.6.2. Visualización Frontal o Head-Up Display (HUD)

El HUD es toda la información en pantalla que no obstaculiza la visión del usuario hacia el inmueble y que no pertenece a ninguna ventana. Muestra información sobre la interacción seleccionada, ayudas, el puntero y (según la interacción) el elemento seleccionado de la paleta de objetos o superficies. Su principal ventaja radica en facilitar el uso de la interacción seleccionada y de la aplicación.

Los elementos mostrados varían según el entorno virtual donde se encuentre el usuario. Sin embargo, sin importar el entorno cargado, ambas plataformas presentan los mismos elementos pero dispuestos de forma distinta, buscando que sea lo más funcional al usuario. La Figura 4.9 indica dichos elementos y su disposición en PC, y las Figuras 4.10 (a) y (b) muestran la disposición de los mismos en RV para cada mano.

Los elementos que conforman el HUD son:

1. La representación del puntero.
2. El ícono de la interacción seleccionada.
3. Ayudas en pantalla (ya sea activas o no).
4. (Dependiendo de la interacción) Un carrusel con el elemento seleccionado de la paleta de objetos CEIT o superficies y los ítems consiguientes.



Figura 4.9 - Elementos del HUD (mitad inferior de lo visto en un monitor de PC)



Figura 4.10 - (a) HUD en RV: Mano Izquierda - (b) HUD en RV: Mano Derecha

El puntero del usuario en PC se identifica de dos formas distintas:

- Si está en el modo bloqueado se muestra una mirilla roja en el centro de la pantalla, indicando el punto de origen del raycast.
- Si está en el modo libre se muestra el cursor del mouse como en la GUI del sistema operativo.

En RV se muestra con una línea recta blanca que visibiliza el recorrido del raycast, ya que parte de la mano derecha hacia adelante y tiene el mismo alcance. Además, puede tornarse de color azulado al apuntar a un elemento de la UI con el que es posible interactuar.

El ícono de la interacción seleccionada siempre está visible en ambos casos, y se encuentra en la esquina inferior derecha en PC, y justo por encima de la mano izquierda en RV.

El carrusel de la paleta de objetos CEIT o superficies permite ver y recorrer los ítems correspondientes a las interacciones “Colocar Objeto” o “Aplicar superficie” y por lo tanto solo aparece en pantalla cuando una de las anteriores está seleccionada. Muestra el nombre y la imagen del objeto seleccionado de la paleta correspondiente como elemento central y la imagen de los consiguientes, facilitando el uso de las interacciones y las paletas. Se ubica en la esquina inferior izquierda en PC, mostrando 3 elementos en total (Figura 4.11 (a)), mientras que en RV se encuentra justo por encima de la mano derecha y se muestran 7 elementos (Figura 4.11 (b)). Al disparar la acción para modificar el ítem actual se muestra una animación donde se desplaza al nuevo ítem seleccionado hacia el centro y se actualizan los nuevos ítems vecinos.



Figura 4.11 - Carrusel de objetos CEIT en (a) PC y (b) RV

Por último se añadieron ayudas rápidas: carteles que describen todos los posibles inputs y sus efectos. Estas ayudas cumplen dos objetivos:

- Agilizar el aprendizaje de los controles a nuevos usuarios sin interrumpir su mirada del inmueble.
- Informar al usuario el funcionamiento de las interacciones disponibles y su estado interno en todo momento.

Esto se reafirma en su disposición interna ya que pueden cambiar su contenido según el contexto. Esto puede observarse en la Figura 4.12.1.



Figura 4.12.1 - Vista en PC de la ayuda rápida de los dos estados de la interacción "Tomar Medida"

Por defecto las ayudas no son visibles, sino que el usuario debe activarlas manualmente. Para ello se utilizaron dos enfoques distintos en cada plataforma:

En PC se asignó una acción de UI indicada en la Tabla 4.11 que las activa o desactiva. Esto se informa con un cartel siempre visible en la parte inferior central de la pantalla (puede observarse en la Figura 4.12.2) y que sigue el mismo formato de las demás ayudas.

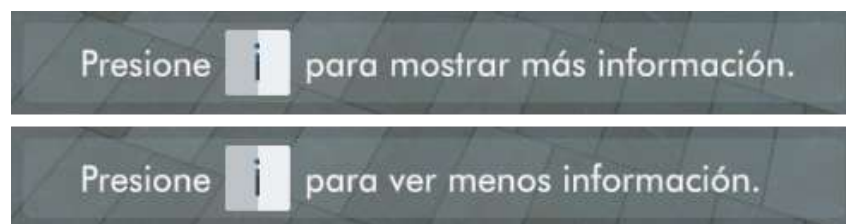


Figura 4.12.2 - Vista en PC del cartel que indica la visibilidad de las ayudas en pantalla

Acción de UI	PC	RV
MOSTRAR INFO	i	(no asignado)

Tabla 4.11 - Inputs de las Acciones de UI (parte 1/4)

En RV se añadió un "Botón de Ayuda" al HUD que las activa/desactiva y que permanece siempre visible (como muestra la Figura 4.10 (a)). Esto se debe a la escasa cantidad de inputs posibles de la plataforma y a que, en virtud de mantener la aplicación intuitiva, dichos inputs también debían ser sencillos (en este caso hubiera sido necesaria una combinación de inputs para mostrarlas).

Finalmente, la distribución de los carteles en ambas plataformas está relacionada con las zonas asignadas a información sobre interacciones y paletas. Esto es: en PC la esquina inferior derecha pertenece a la paleta de interacciones y la inferior izquierda a las otras; en RV la mano izquierda pertenece a la de interacciones y la derecha a las otras. Sin embargo, en RV se añadieron ayudas adicionales para utilizar las distintas ventanas y menús disponibles (vea las Figuras 4.10 (a) y (b)).

### 4.6.3. Selector de Mapas

Es la primera ventana que ve el usuario al iniciar la aplicación y es la que permite configurar un paseo libre por un inmueble. A diferencia de los demás elementos de UI, esta ventana se muestra como parte de la escena a tamaño real para ambas plataformas, permitiendo su completa reutilización sin modificaciones. Para su navegación en PC se fijó la visión del usuario en un punto mirando hacia el selector y se establece el modo del puntero en libre (se puede ver el cursor del mouse), mientras que en RV se utiliza el puntero virtual. Esta decisión fué inspirada por el juego de RV Beat Saber, el cual, apenas iniciada la aplicación, pone al usuario en frente de un menú de selección de niveles y otras configuraciones.

El flujo de usuario para cargar un inmueble consta de 4 pasos que se detallan a continuación. La disposición del selector está constituida por un encabezado fijo con información de los pasos y un espacio para el contenido del paso que cambiará conforme el usuario avance. Tal disposición se muestra en la Figura 4.13.1, mientras que la Figura 4.13.2 desglosa todos los elementos del encabezado.

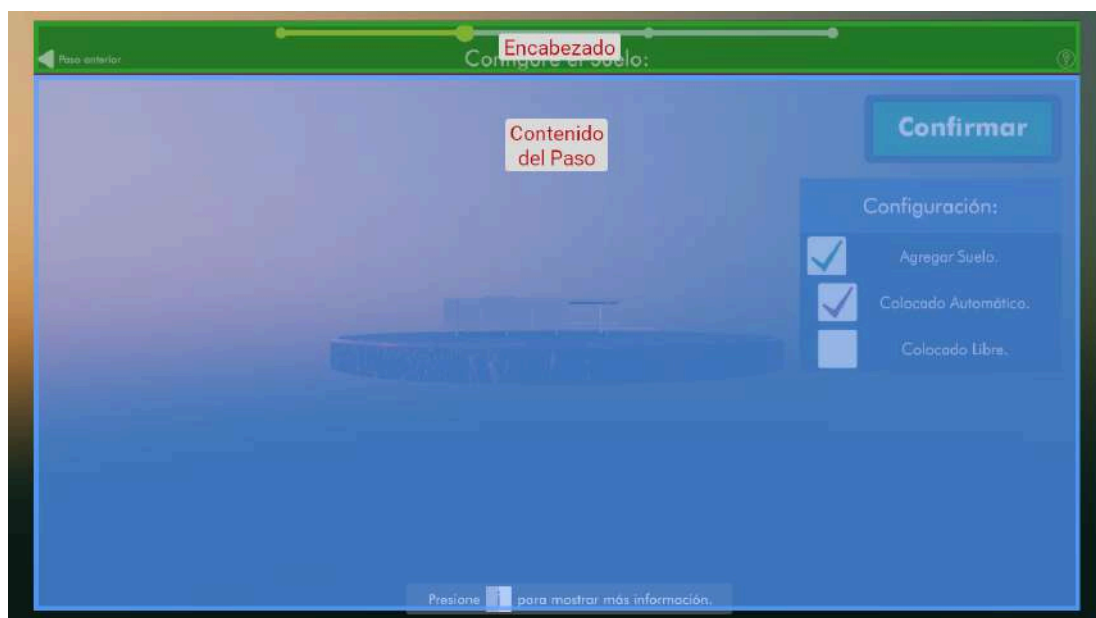


Figura 4.13.1 - Distribución del Selector de Mapas



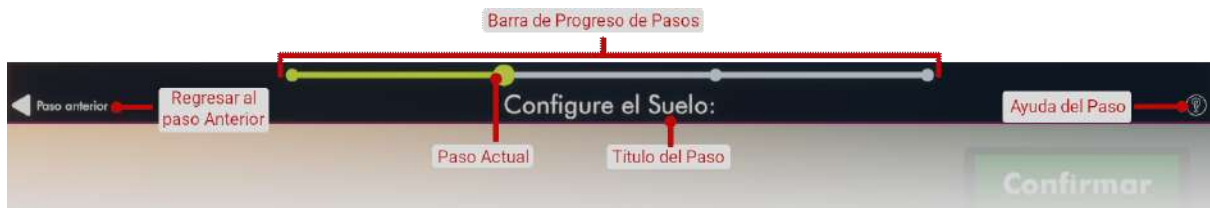


Figura 4.13.2 - Elementos del encabezado del Selector de Mapas

#### 4.6.3.1. Paso 1: selección del Mapa

El contenido de este paso muestra un listado con todos los archivos de extensión .obj y .fbx en la carpeta \$env:userprofile\Documentos\CEIT (en el formato de Powershell) y permite la elección de uno de ellos para su posterior carga. Se decidió llamar “mapa” a los modelos de inmuebles por considerarlo más apropiado. La Figuras 4.14 (a) muestra la vista de este paso en PC mientras que la Figura 4.14 (b) lo hace en RV.

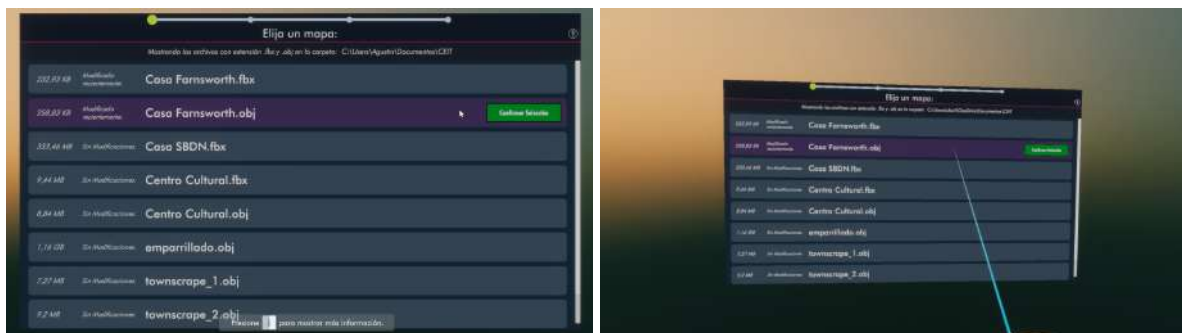


Figura 4.14 - Vistas del selector de mapas en (a) PC y (b) RV

Los formatos .obj y .fbx representan modelos 3D y se escogieron porque:

1. Ambos poseen soporte en la mayoría de herramientas de modelado 3D.
2. Trilib soporta la carga de ambos formatos.

A su vez se eligió listar el directorio dicho por sobre un explorador del File System debido a la sinergia que surge con los formatos soportados y la forma de trabajar con programas de modelado 3D: exportar un modelo a uno de estos formatos implica la creación de uno o más archivos y sus respectivas referencias externas en una carpeta de salida elegida por el usuario. La intención fue agilizar el trabajo del arquitecto al permitirle exportar su proyecto directamente en la carpeta de CEIT en lugar de mover los archivos resultantes posteriormente. Por último, al crear la carpeta de CEIT en los Documentos del usuario se vuelve intuitivo encontrar todo lo generado por este proceso o listados por la aplicación.

Cada elemento del listado muestra: el tamaño del archivo, si fue modificado recientemente en CEIT y el nombre con extensión del archivo. Para pasar al siguiente paso, el usuario debe seleccionar uno de los elementos y luego confirmar su carga (como se observa en las Figuras 4.14 (a) y (b)). Al confirmar el mapa, inmediatamente comienza la carga de una miniatura del mismo (el modelo pero a escala 0.1 y sin texturas para agilizar la carga). Esto será conveniente para los próximos dos pasos. Esta confirmación de dos pasos se atribuye a que algunos modelos son muy grandes y su carga puede ralentizar la aplicación.

#### 4.6.3.2. Paso 2: carga de Miniatura y Configuración del Suelo del Paseo

El objetivo de este paso es cargar la miniatura del modelo y configurar el suelo del paseo. El paseo puede contar o no con un suelo puesto por CEIT, dependiendo de las necesidades del arquitecto y las características del modelo. El suelo es una superficie colisionable, plana y de gran extensión sobre la que estará el inmueble. Por defecto no cuenta con una textura que lo haga visible y se posiciona en la parte inferior del modelo. Esto evita que el usuario experimente una caída infinita en caso de exceder los límites del modelo.

Para indicar el avance del proceso de carga de la miniatura se muestra una barra de progreso indicando su porcentaje y la opción de cancelar la carga, como se muestra en la Figura 4.15.1.

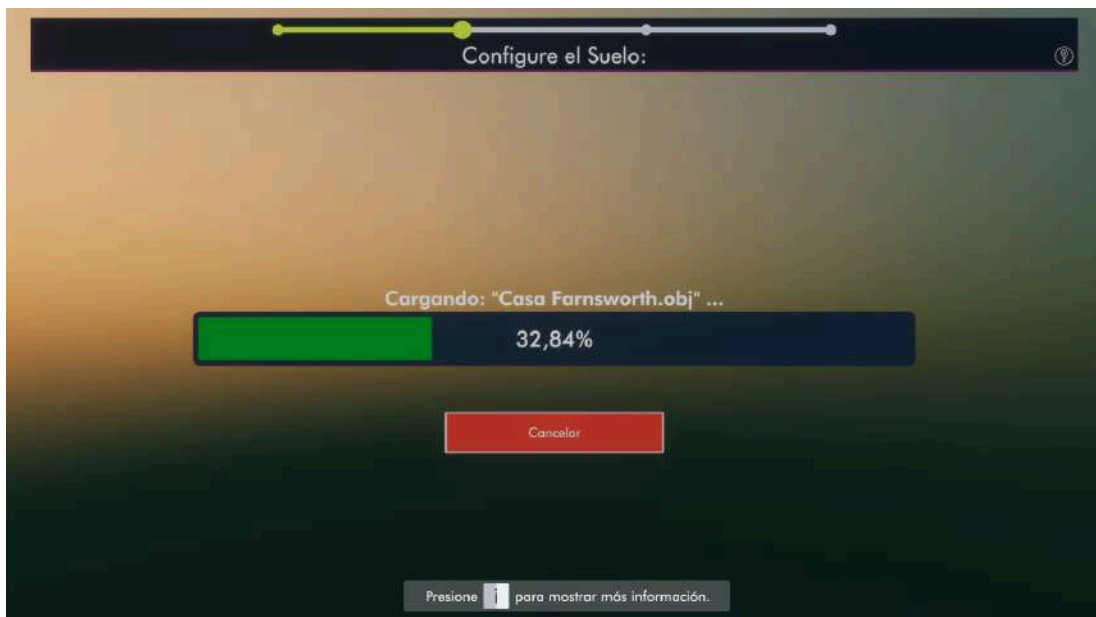


Figura 4.15.1 - Selector de Mapas - Paso 2 - Barra de progreso

Sin embargo, en caso de intentar cargar una miniatura de tamaño superior a los 250 MB, se muestra un mensaje de error (Figura 4.15.2) y sólo se admite navegar al paso anterior. Este límite se introdujo debido a inconvenientes que se presentaron en los testeos con mapas de hasta 1,5 GB. En el paso 1 se muestran todos los mapas (en lugar de filtrar aquellos que no lo sobrepasan) para luego mostrar este error en virtud de comunicar al usuario de manera implícita que es el correcto funcionamiento de la aplicación.



Figura 4.15.2 - Selector de Mapas - Paso 2 - Mensaje de Error

Si la carga culmina exitosamente, se muestra la miniatura lateralmente, junto a un cuadro de título Configuración (ubicado en el centro a la derecha) y que posee una checkbox desmarcada que indica "Agregar Suelo" (Figura 4.15.3).

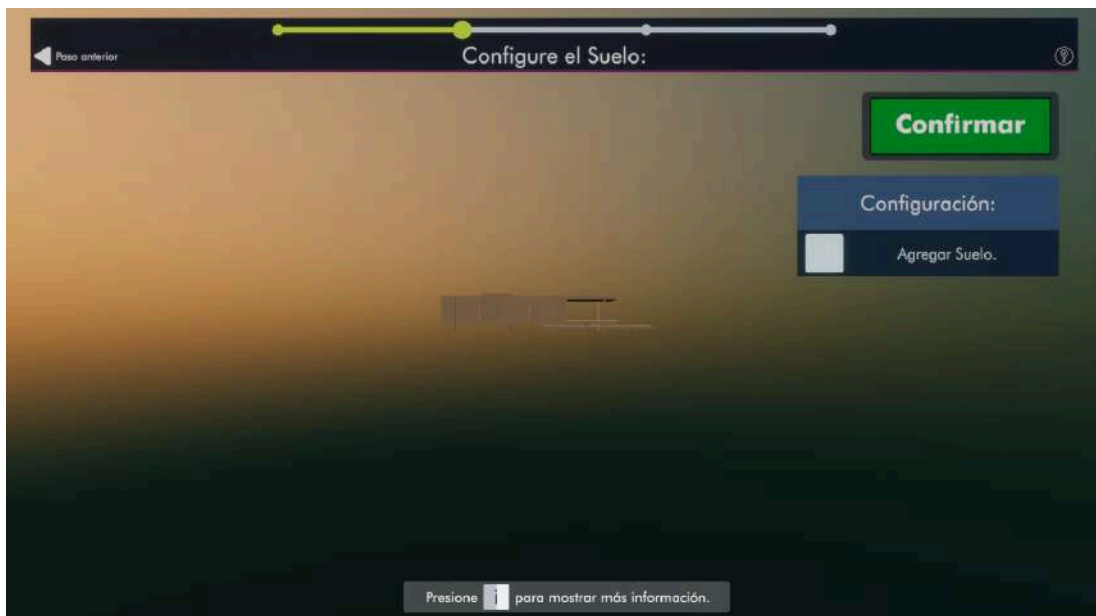


Figura 4.15.3 - Selector de Mapas - Paso 2 - Miniatura (sin Suelo)

Marcar esta opción añadirá una textura al suelo. Este es el comportamiento por defecto ya que es habitual que los arquitectos añadan el suelo a sus modelos y hasta en ocasiones el entorno del inmueble. Por otro lado ofrece la flexibilidad suficiente para cargar modelos con subsuelos o diferencias de terreno sin obstruir el recorrido.

Al marcar la checkbox indicada anteriormente, se muestra un cilindro en la parte inferior del modelo que representa el suelo (Figura 4.15.4 (1)). A su vez, el usuario es presentado con dos opciones adicionales:

- “Colocado Automático”: seleccionada por defecto. El suelo estará a la altura del vértice con menor valor en el eje Y y no puede alterarse (Figura 4.15.4 (1)).
- “Colocado Manual”: utilizada para resolver problemas del modelo, como vértices sueltos en posiciones muy bajas del eje Y que podrían causar fallos en el modo anterior. El usuario es presentado con dos sliders: el vertical altera la altura del suelo y el horizontal rota el modelo para mayor visibilidad y control de la altura. Este último cumple un rol de accesibilidad y no altera al modelo (Figura 4.15.4 (2)).

Por último, para avanzar al siguiente paso debe presionar la opción “Confirmar”.

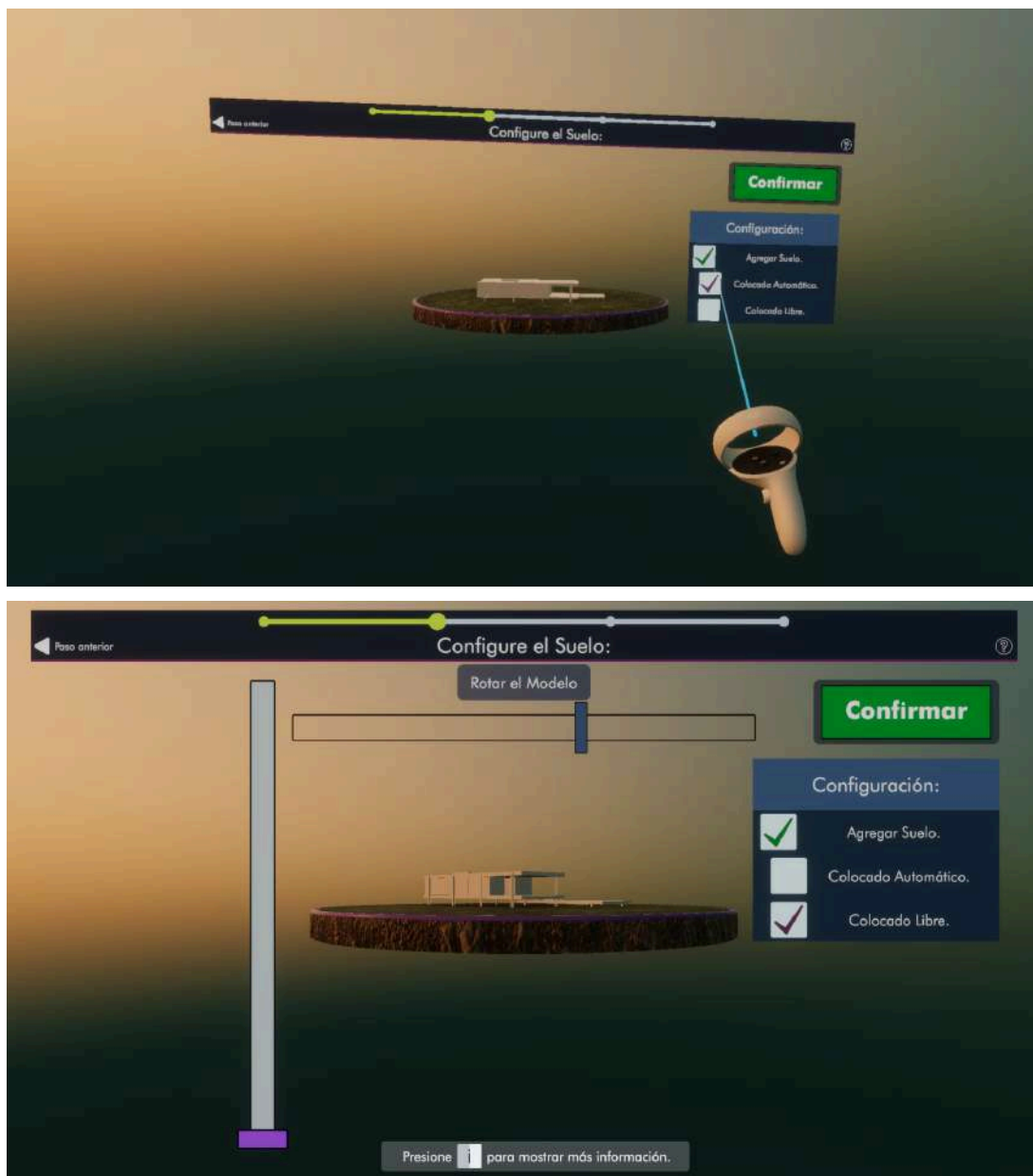


Figura 4.15.4 - Configuración del Suelo donde:

- (1) Se configuró el colocado automático (captura realizada en RV)
- (2) Se configuró el colocado manual y se movió el slider hasta el mínimo (captura realizada en PC)

#### 4.6.3.4. Paso 3: punto de Aparición

El usuario debe elegir un punto donde iniciar su paseo. Para ello, se gira la miniatura hasta obtener una vista cenital de la misma. Luego, el usuario debe clicar sobre el inmueble o sobre el suelo colocado (en caso de no agregarlo, sólo podrá sobre el inmueble). Al hacerlo, el botón confirmar se desbloquea y se muestra un pin rojo en dicho punto (culturalmente asociado a un punto elegido en un software de mapas y GPS) (Figura 4.16). Finalmente, al confirmar avanzará al paso siguiente.



Figura 4.16 - Selector de Mapas - Paso 3 - Punto de aparición elegido

#### 4.6.3.5. Paso 4: carga

Para finalizar, se muestra al usuario una última barra de progreso (Figura 4.17), representativa del avance del proceso de la carga del modelo. Esta vez, se cargará el modelo a escala 1:1, con todas sus texturas asociadas y todos los cambios realizados en la última sesión (de haberlos). Al finalizar, el usuario es teletransportado a las coordenadas del paso 3 y se libera su movimiento y visión para comenzar el paseo.

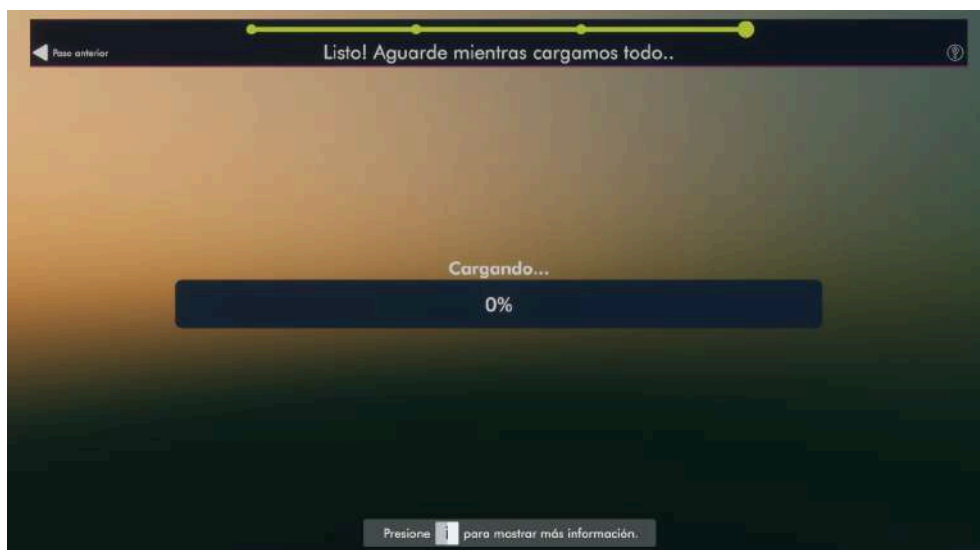


Figura 4.17 - Selector de Mapas - Paso 4 - Cargando Paseo

#### 4.6.4. Pausita

“Pausita” es una ventana disponible durante el paseo y la selección de mapas accesible desde PC y RV. Su disposición está inspirada en menús de pausa de videojuegos. La Figura 4.18.1 muestra una captura de esta ventana en el entorno de PC (con una breve descripción de cada uno de sus botones) y la 4.18.2 en RV. Por último, esta ventana puede abrirse disparando la acción de usuario especificada en la Tabla 4.12.



Figura 4.18.1 - Elementos del menú “Pausita” - Fuentes de los íconos originales: FlatIcon y Emojiterra - Autores y links en Anexo II



Imagen 4.18.2 - Vista del menú “Pausita” en RV

Acción de UI	PC	RV
PAUSA	Esc	Pause

Tabla 4.12 - Inputs de las Acciones de UI (parte 2)

Posee las siguientes cinco finalidades: guardar, volver a la selección de mapas, cerrar la aplicación, ver los controles rápidamente (Figura 4.19) y mutear el sonido ambiental. Ofrece las únicas dos maneras de guardar los cambios.

El procedimiento para volver a la selección de mapas es:

1. Guardar los cambios del paseo actual.
2. Descargar de memoria el modelo del inmueble y en paralelo cargar el entorno y ventana del selector de mapas.
3. Posicionar al usuario frente al selector de mapas.

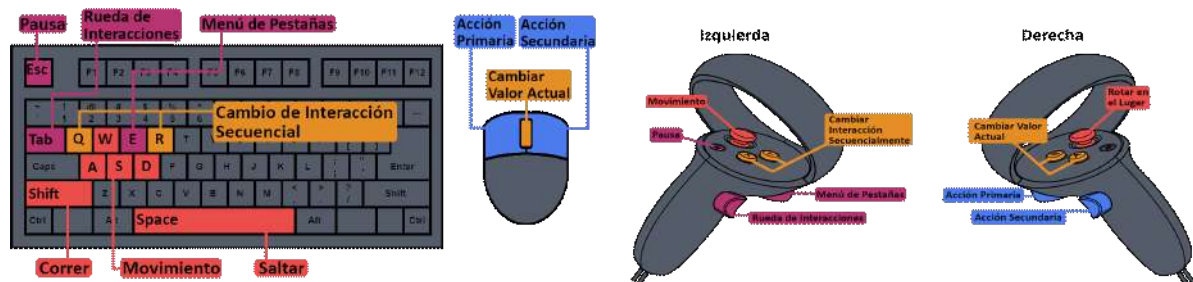


Figura 4.19 - Diagramas mostrados en la opción controles en (a) PC y (b) RV - Fuentes de los diagramas originales: Wikimedia y Meta - Autores y links en Anexo II

#### 4.6.5. Rueda de Interacciones

Es una ventana que ofrece una vista de la Paleta de Interacciones y permite la selección rápida y directa de las mismas. La Figura 4.20.1 especifica las partes de esta ventana usando una vista en PC, mientras que la Figura 4.20.2 la muestra en RV. Está inspirada en ruedas de ítems seleccionables de videojuegos. Seleccionar otra interacción actualiza los elementos del HUD correspondientes. Por último, a diferencia de las demás ventanas descritas, se muestra/oculta cuando el usuario mantiene/suelta el input correspondiente especificado en la Tabla 4.13.



Figura 4.20.1 - Elementos de la "Rueda de Interacciones"



Figura 4.20.2 - Vista de la "Rueda de Interacciones" en RV

Acción de UI	PC	RV
RUEDA DE INTERACCIONES	TAB (mantener)	GRIP IZQ (mantener)

Tabla 4.13 - Inputs de las Acciones de UI (parte 3)

#### 4.6.6. Menú de Pestañas

Agrupar configuraciones heterogéneas, correspondientes a interacciones y al usuario. Está inspirado en menús de videojuegos multisistema, donde numerosas opciones y configuraciones de funcionalidades son accesibles desde el mismo menú pero están agrupadas por pestañas. Esta ventana puede abrirse disparando la acción de usuario especificada en la Tabla 4.14.

Acción de UI	PC	RV
MENÚ DE PESTAÑAS	E	Trigger Izq.

Tabla 4.14 - Inputs de las Acciones de UI (parte 4)

Su disposición consta de un encabezado fijo con cuatro pestañas, y por debajo el contenido de la pestaña seleccionada. La Figura 4.21.1 muestra dicha disposición además de especificar los distintos elementos del encabezado. En los próximos títulos se describirán las 4 pestañas en orden de izquierda a derecha. La Figura 4.21.2 expone una vista de esta ventana en RV.



Figura 4.21.1 - Elementos del encabezado del Menú de Pestañas





Figura 4.21.2 - Vista del "Menú de Pestañas" en RV

#### 4.6.6.1. Pestaña 1: parámetros del Usuario

Ofrece configuraciones de accesibilidad del controlador del usuario. Algunas no están disponibles en la versión de RV por no ser relevantes a la plataforma (sensibilidad del mouse y altura a los ojos). Está compuesta por hasta 4 modales de contenido heterogéneo, cada uno con un título descriptivo y su ayuda correspondiente. La Figura 4.22.1 desglosa el modal "Velocidad" en PC y muestra su ayuda asociada.

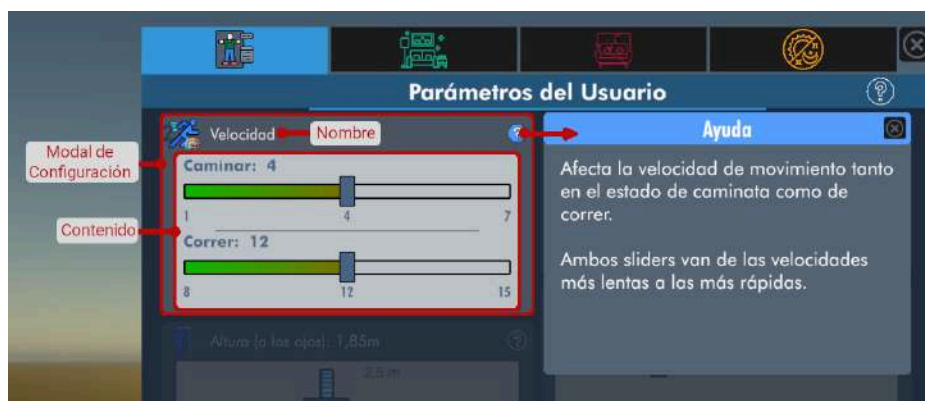


Figura 4.22.1 - Elementos de un modal de configuración

En PC se ofrecen todas las configuraciones disponibles mientras que en RV sencillamente no se muestran. En la Figura 4.22.2 se muestran todas las configuraciones, las cuales son:

- **Velocidad:** afecta la velocidad de movimiento tanto al caminar como al correr.
- **Sensibilidad de cámara:** trivialmente exclusiva de PC, afecta la velocidad de respuesta de la visión del usuario respecto a los movimientos del mouse.
- **Altura a los ojos:** representa la altura del usuario en metros hasta donde estarían sus ojos en escala real. Afecta la altura de la cámara desde el piso. En RV no se agrega ya que sólo se considera la altura real del usuario.
- **Alcance:** afecta la distancia (en metros) a la que se puede interactuar con el entorno y objetos de CEIT (no afecta el rango de la interacción "mover el sol").

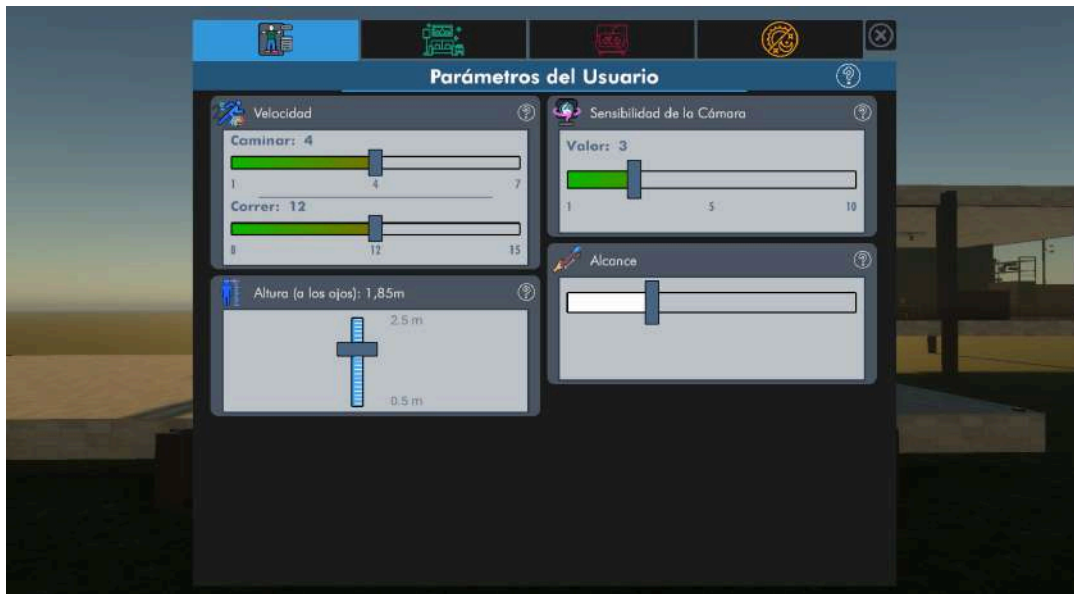


Figura 4.22.2 - Vista de la Pestaña "Parámetros del Usuario" en PC - Fuente de los íconos mostrados: FlatIcon y FreePik - Autores y links en Anexo II

#### 4.6.6.2. Pestañas 2 y 3: vistas de las Paletas de Objetos CEIT y Superficies (respectivamente)

Permiten la vista y selección rápida de elementos de las paletas de Objetos CEIT y Superficies. Ambas poseen la misma navegación y distribución de elementos. La Figura 4.23 muestra la navegación de la vista de superficies y desglosa sus elementos.

El elemento seleccionado de la paleta correspondiente siempre se muestra resaltado, por lo que si el usuario selecciona otros elementos por medio de interacciones, dicho cambio también se verá reflejado en este menú. A su vez al seleccionar otro elemento en una de las paletas, se actualizan los elementos correspondientes del HUD.



Figura 4.23 - Elementos de una vista de paleta

Por último se ofrecen dos vistas para mayor flexibilidad: lista y grilla. La vista de lista agrupa los ítems de una misma categoría mientras que la vista de grilla los muestra todos juntos. La Tabla 4.15 muestra las dos vistas de ambas pestañas. Para identificar cada grupo dentro de la lista se muestra el ícono de la categoría junto a su nombre y por debajo los ítems que pertenecen a ella.

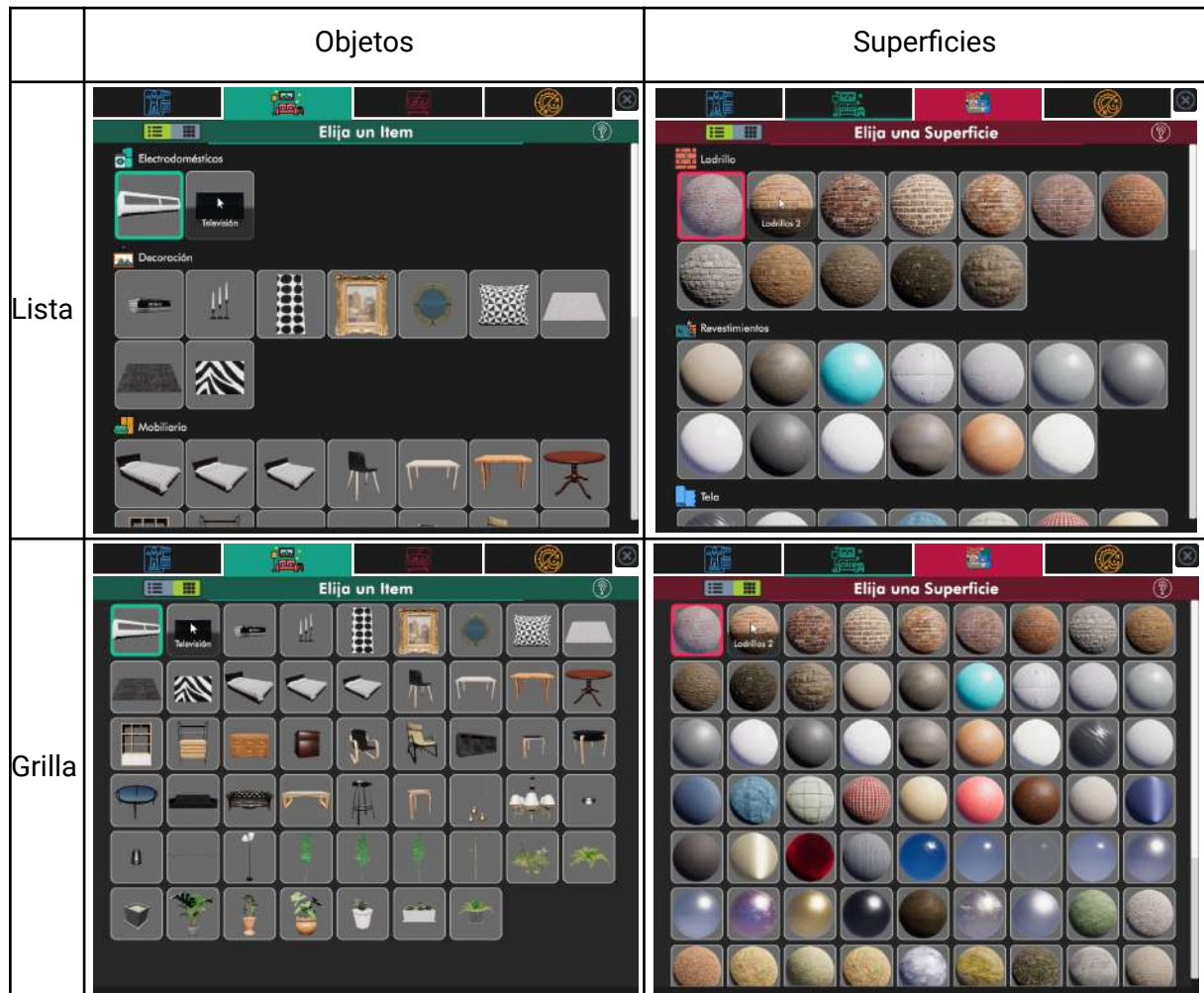


Tabla 4.15 - Todas las vistas de las paletas de Objetos y de Superficies -  
Fuente: Unity Asset Store y Polyhaven - En el Anexo II se listan los obtenidos de Unity Asset Store.

#### 4.6.6.3. Pestaña 4: Día y Noche

Permite configurar la hora del día y la orientación geográfica del sol respecto al inmueble. El sol es la fuente de iluminación global del paseo y se calcula en tiempo real, por lo que alterar su posición y rotación se verá reflejado instantáneamente. Por último, no se implementó un ciclo de día y noche, por lo que la posición del sol es fija hasta que manualmente sea alterada.

El modal “**Hora del Día**” contiene un slider que altera la hora por minutos y cuatro presets que marcan las 00:00, 9:00, 15:00 y 19:00. El segundo modal titulado “**Orientación Geográfica del Inmueble**” permite rotar el sol alrededor del inmueble al girar la brújula del centro hacia alguno de los puntos cardinales. Ambos modales se muestran en la Figura 4.24.

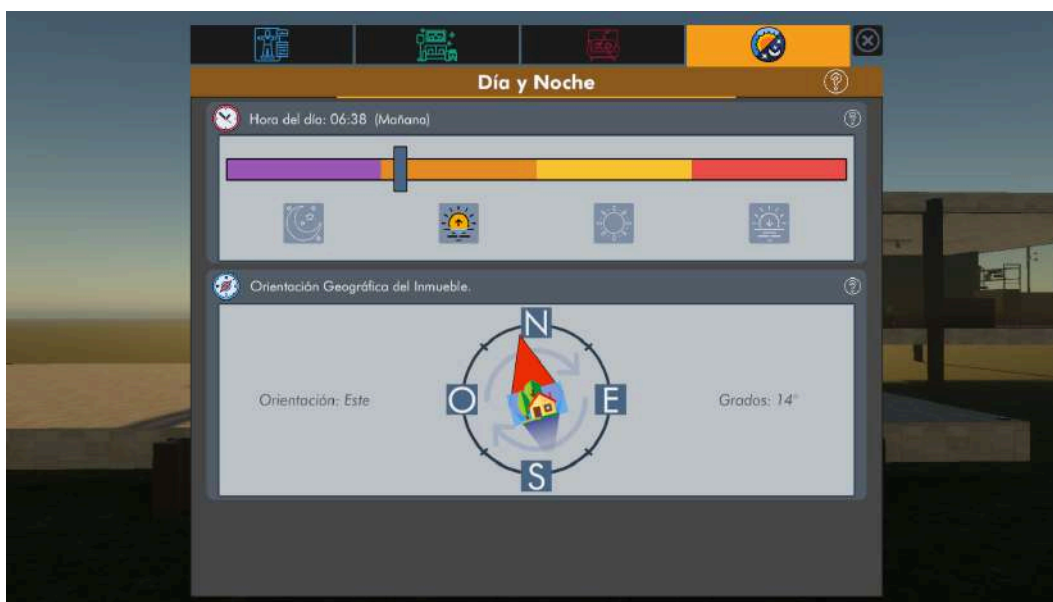


Figura 4.24 - Vista de la Pestaña "Día y Noche" en PC -  
Fuentes de los íconos originales: FlatIcon y FreePik - Autores y links en Anexo II

## 4.7. Interacciones

Las interacciones son las herramientas de CEIT para aplicar transformaciones suaves al modelo y al paseo. Como ya se adelantó en la sección 4.5, existen 6 tipos de interacciones: Paseo Libre, Colocar Objeto, Remover Objeto, Aplicar Superficie, Tomar Medida y Mover el Sol. A su vez están almacenadas en la **paleta de interacciones** (Figura 4.7), la cual mantiene una seleccionada todo el tiempo.

Por otro lado, y como ya se explicó en la sección 4.5, las interacciones exponen la siguiente interfaz simplificada: **Primaria, Secundaria y Cambiar Valor** (Figura 4.5). Cuando el usuario dispara una acción de interacción (indicadas en la Tabla 4.16) se ejecuta un flujo similar al patrón strategy: se invocan los métodos con el mismo nombre pertenecientes a la interacción seleccionada en la **paleta de interacciones**.

Acción de Interacción	PC	RV
PRIMARIA	Click Izquierdo	Trigger Derecho
SECUNDARIA	Click Derecho	Grip Derecho
CAMBIAR VALOR	Scroll (Arriba y Abajo)	A y B

Tabla 4.16 - Inputs de las Acciones de Interacción

A fin de simplificar la explicación de las funcionalidades de cada interacción, en lugar de utilizar el nombre de los inputs necesarios para activarlas, se utilizará en su lugar el nombre de la **acción de interacción** que agrupa dichos inputs. Por ejemplo, si tomamos la interacción "Aplicar Superficie": en lugar de indicar que para cambiar la superficie de un objeto hace falta hacer Click Izquierdo en PC o presionar el Trigger Derecho en RV, se agrupan ambos inputs indicando que dicho efecto se dispara con la acción **PRIMARIA**.

Por último, debe destacarse que sólo 1 de las 6 interacciones sobrescribe la interfaz dejando todos sus métodos vacíos: **Paseo Libre**. La misma se pensó con la única finalidad de permitir al usuario relajarse y concentrarse exclusivamente en explorar el modelo sin el riesgo de realizar cambios involuntarios. Por eso se la colocó primera en la paleta de interacciones (vea la sección 4.5.1).

En las próximas secciones se detalla el funcionamiento de cada una de las interacciones restantes siguiendo el orden de la paleta antes mencionada.

#### 4.7.1. Colocar Objeto

Permite la instanciación, colocación (movimiento y rotación) y eliminación de objetos CEIT. El objeto a instanciar es el seleccionado en la **paleta de objetos CEIT** y es por ello que la interacción ofrece cambiar dicho elemento secuencialmente.

Posee tres estados posibles “ESPERANDO” (estado por defecto), “SUJETANDO CREADO” y “SUJETANDO EXISTENTE”. La interacción sólo puede estar en un estado a la vez y cada uno posee una implementación propia de los métodos de la interfaz. La figura 4.25.1 muestra las transiciones entre estados y sus condiciones.

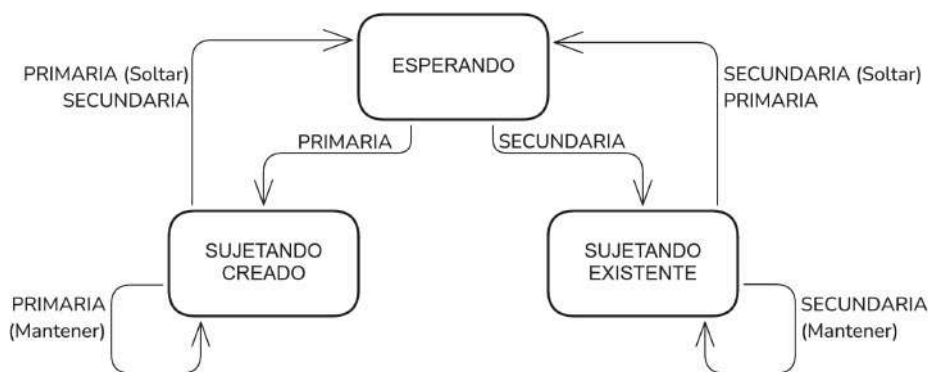


Figura 4.25.1 - Estados de la interacción “Colocar Objeto”

- Funcionamiento “**EN ESPERA**” (Imagen 4.25.2 (1)):

**PRIMARIA:** instancia el objeto seleccionado de la Paleta de Objetos en la posición señalada por el puntero. Pasa al estado “SUJETANDO CREADO”.

**SECUNDARIA:** sí apunta a un Objeto CEIT, lo sujeta y pasa al estado “SUJETANDO EXISTENTE”.

**CAMBIAR VALOR:** cambia el elemento seleccionado en la Paleta de Objetos a uno de los consiguientes.

- Funcionamiento “**SUJETANDO CREADO**” (Imagen 4.25.2 (2)):

**PRIMARIA (Mantener):** mueve el objeto a la posición señalada o una cercana.

**PRIMARIA (Soltar):** suelta el objeto y vuelve al estado “EN ESPERA”.

**SECUNDARIA:** cancela la creación (remueve el objeto creado) y regresa al estado “EN ESPERA”.

**CAMBIAR VALOR:** rota el objeto sostenido unos  $\pm 15^\circ$  sobre su dirección vertical relativa (según valor del input).

- Funcionamiento “**SUJETANDO EXISTENTE**”:

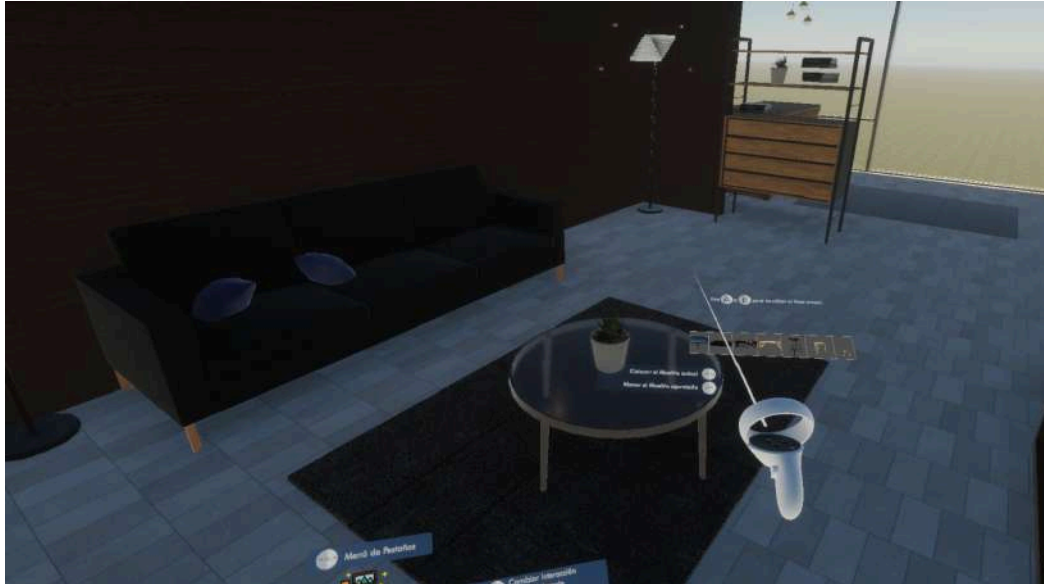
**PRIMARIA:** remueve el objeto creado y regresa al estado “EN ESPERA”.

**SECUNDARIA (Mantener):** mueve el objeto a la posición señalada o una cercana.

**SECUNDARIA (Soltar):** suelta el objeto y vuelve al estado “EN ESPERA”.

**CAMBIAR VALOR:** rota el objeto sostenido unos  $\pm 15^\circ$  sobre su dirección vertical relativa (según valor del input).

1)



2)

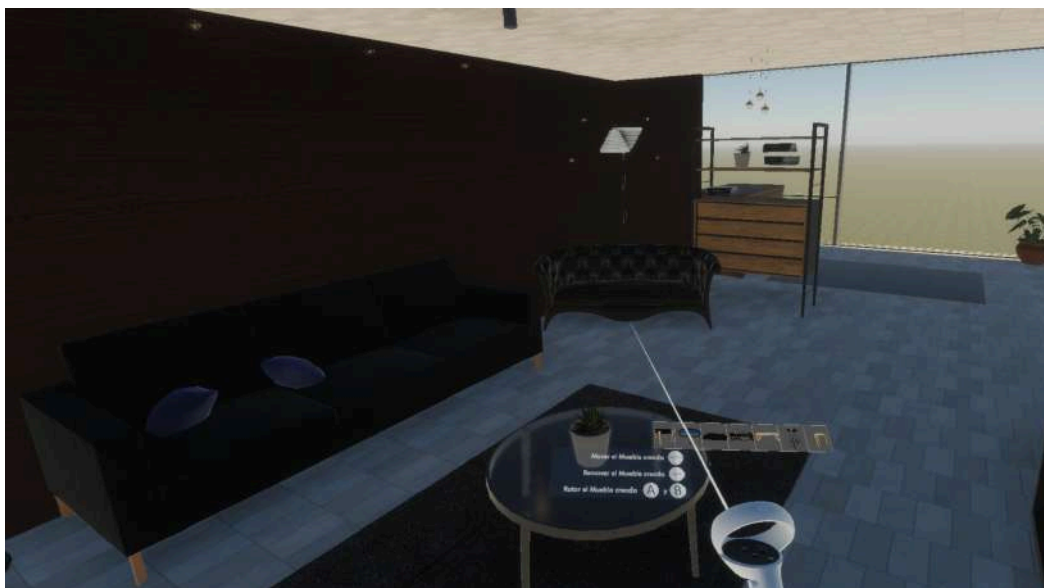


Figura 4.25.2 - Secuencia en RV de Instanciación y Colocación de un sofá donde:

(1) Muestra el estado inicial de la sala

(2) Muestra el sofá instanciado siendo “sujetado” por la interacción

Los objetos movidos siempre se mantienen sobre el sólido apuntado, o en otras palabras, nunca quedan “en el aire”. Incluso cuando el usuario apunta a la nada el objeto queda sobre el sólido inmediatamente inferior, en el punto a la distancia de alcance máxima perteneciente al raycast del puntero. La Figura 4.25.3 muestra este comportamiento.

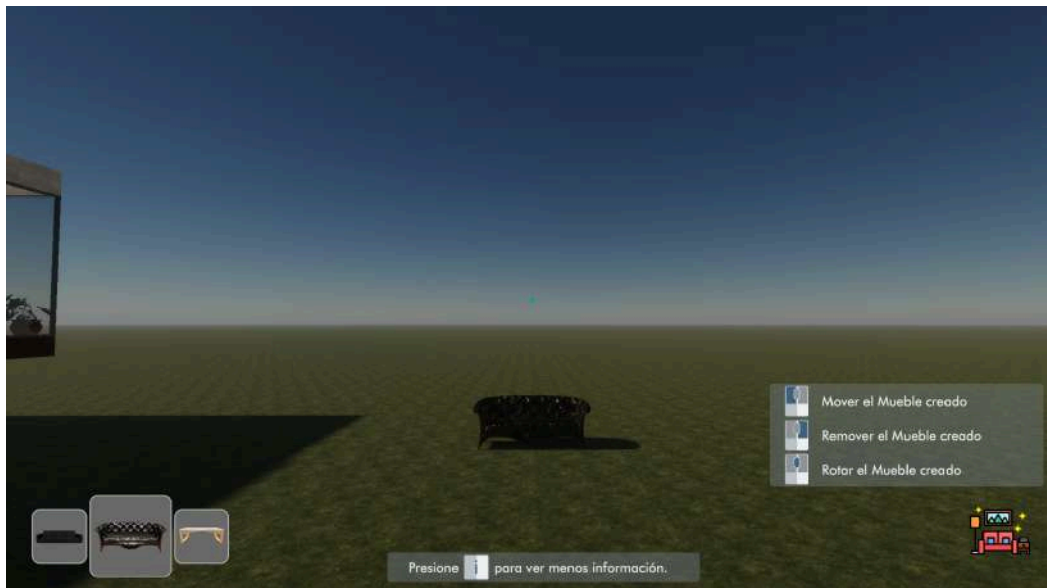


Figura 4.25.3 - Muestra en PC de Colocar Objeto - Sujutando objeto mientras se apunta a la nada

Por otro lado, al sujetar un objeto este deja de ser sólido (su collider se marca como trigger mientras está siendo sostenido). Esto brinda una mejor experiencia al moverlo estando rodeado de otros objetos, ya que de no ser así podría golpear a otros alterando su posición y rotación. Sin embargo, esto introduce el siguiente problema: si al soltarlo y convertirlo en sólido nuevamente estuviera superpuesto con otros objetos, los mismos serían golpeados como ya se explicó. Si bien no se tomaron acciones para solventar este inconveniente, se añadió un material "holográfico" para comunicar al usuario de esta situación (Figura 4.25.4).



Figura 4.25.4 - Muestra en RV de Colocar Objeto - Vista de un objeto superpuesto con otro

### 4.7.2. Remover Objeto

Esta interacción permite remover objetos rápidamente. Si bien “Colocar Objeto” ofrece la misma funcionalidad, también está detrás de ciertos pasos no necesariamente intuitivos. Al tratarse de una herramienta sumamente útil y de uso constante, se decidió darle un acceso más directo y accionar más sencillo.

Funcionamiento:

**PRIMARIA:** elimina el objeto CEIT apuntado.

### 4.7.3. Aplicar Superficie

Aplica una nueva superficie a un objeto sólido. La superficie aplicada corresponde a la seleccionada en la **paleta de superficies**. También admite seleccionar rápidamente otra de la paleta de manera secuencial. Adicionalmente, esta interacción almacena un **historial de las superficies** en forma de pila (explicado en la sección 4.5) permitiendo revertir a la superficie inmediatamente anterior hasta llegar a la original de cualquier sólido. La Figura 4.26 muestra un ejemplo de su funcionamiento principal.

Funcionamiento:

**PRIMARIA:** aplica la superficie seleccionada en la Paleta de Superficies al sólido apuntado.

**SECUNDARIA:** aplica un retroceso en el **historial de superficies** del sólido apuntado.

**CAMBIAR VALOR:** cambia el elemento seleccionado de la Paleta de Superficies a uno de los consiguientes.

1)





2)



3)

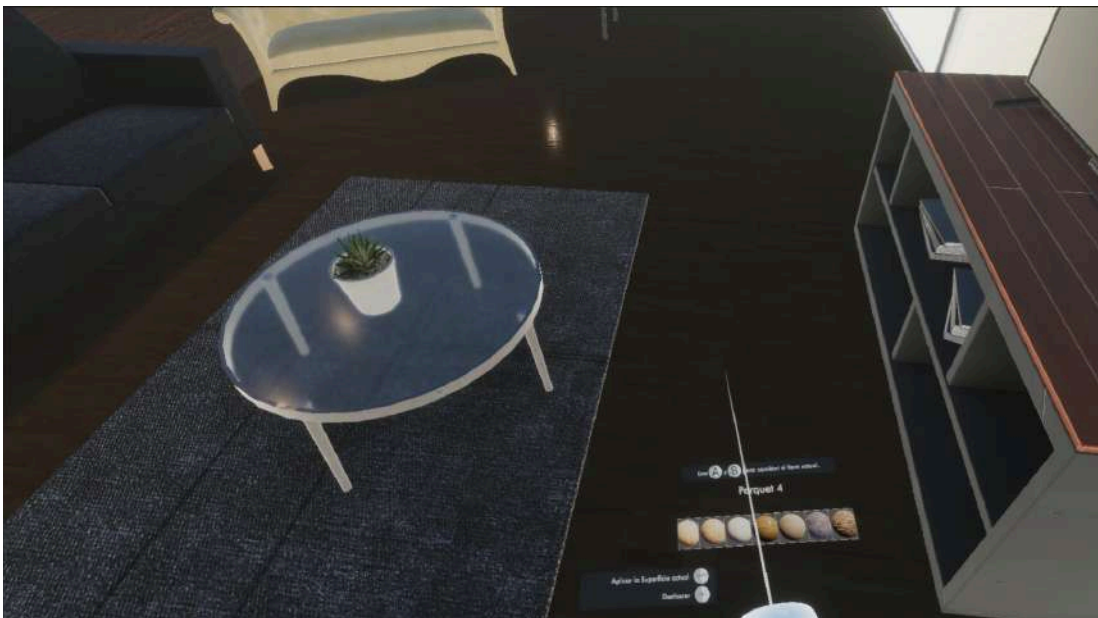


Figura 4.26 - Secuencia en RV de la aplicación de superficies donde:

- (1) Muestra el estado inicial.
- (1) Aplica la superficie "Tela" al sofá de la escena
- (2) Aplica la superficie "Parquet 4" al piso

#### 4.7.4. Tomar Medida

Obtiene la distancia en metros entre dos puntos tridimensionales  $P_a$  y  $P_b$ , seleccionados por el usuario y sin límite de distancia. El segmento comprendido entre ambos puntos se muestra como una línea roja continua. La distancia medida aparece dentro de un modal por encima de dicho segmento rojo. Por último estas mediciones permanecen en el entorno virtual hasta ser borradas por el usuario.



3)

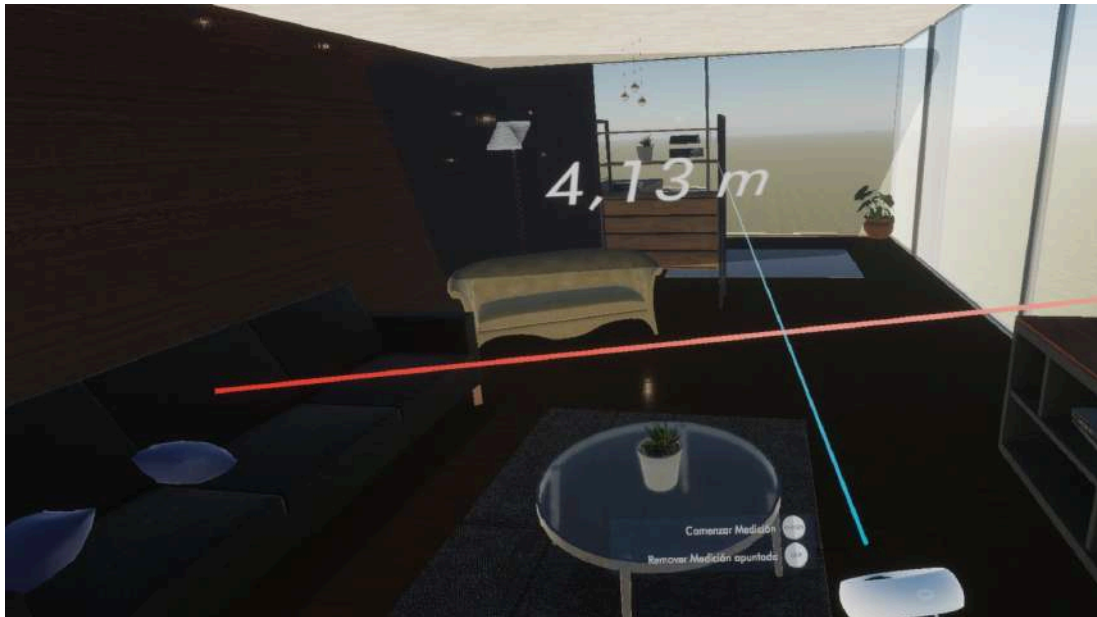


Figura 4.27 - Secuencia en RV de la creación de una medición donde:  
(1) Muestra el estado inicial, apuntando a la posición tentativa del Pa  
(2) Coloca el Pb  
(3) Muestra la medición finalizada

#### 4.7.5. Mover el Sol

Permite mover el astro por el cielo afectando la iluminación global en tiempo real de manera horizontal y vertical. De esta manera pueden lograrse todas las horas del día y orientaciones geográficas posibles. La Figura 4.28 muestra la interacción en ejecución.

Funcionamiento:

**PRIMARIA (Mantener):** mueve el sol verticalmente (afecta la hora del día).

**SECUNDARIA (Mantener):** mueve el sol horizontalmente (afecta la posición geográfica).

Es posible mantener ambas acciones para mover el sol en las dos direcciones.

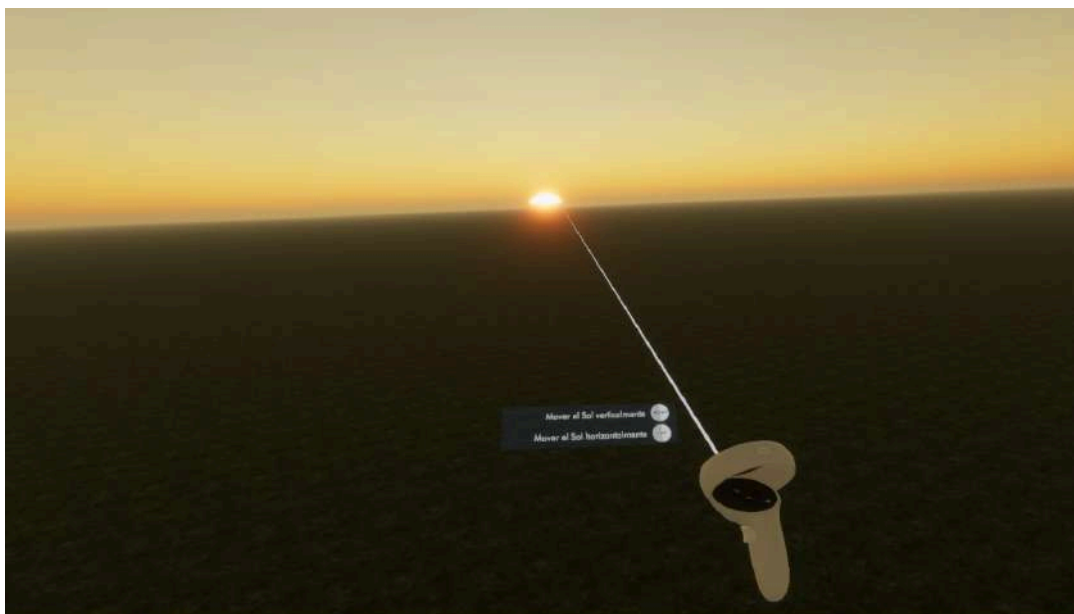


Figura 4.28 - Muestra en RV de Mover Sol

## Capítulo 5 - Usabilidad y Métricas

En este capítulo se describen las pruebas realizadas con CEIT con distintos perfiles de usuarios. Estas pruebas permitieron evaluar algunos aspectos de usabilidad y el potencial uso de CEIT como herramienta profesional y educativa.

### 5.1. Las pruebas realizadas

Se llevaron a cabo 7 sesiones con modalidad presencial y supervisadas por el tesista. Tuvieron lugar en 2 locaciones distintas: 3 en el laboratorio LINTI de la Facultad de Informática de la UNLP y las 4 restantes en el domicilio particular del tesista.

En estas sesiones se destaca que:

1. El HW fue provisto por el entrevistador. A la fecha de escritura, los visores de RV no están masivamente adoptados por el público en comparación con las computadoras personales. Obviamente, debió proveerse al entrevistado con un visor de RV y, al ser CEIT una aplicación tipo tethered, también fue provista una PC de escritorio.
2. Se mantuvo un diálogo con los entrevistados para explicarles la motivación y alcance de CEIT, permitiendo disipar dudas, resolver errores espontáneos, ver sus primeras impresiones y escuchar comentarios relacionados o que creyeran interesantes.
3. Se realizó una observación directa de la experiencia en donde se registraron las acciones que los entrevistados hacían mientras usaban el casco: todo aquello que hicieran dentro de CEIT (sin importar la plataforma) era visible en el monitor de la PC o a través de la aplicación de celular Meta Horizon.

Los testimonios de los entrevistados y algunas anécdotas ocurridas durante las sesiones aportaron información interesante para fomentar futuras líneas de investigación.

Previo a las sesiones, se dió a elegir a los entrevistados por recorrer y decorar la casa Farnsworth (modelo mencionado anteriormente), o un inmueble de su autoría. De escoger la segunda opción, se les pidió que enviaran el modelo con anterioridad a la demo y que garantizaran que cumplía con los siguientes requisitos:

1. Sin mobiliario: para acelerar la carga del modelo en el paseo y para que pudiesen decorar fácilmente con los assets de CEIT.
2. Sin puertas o con las puertas totalmente abiertas: el modelo es sólido durante el paseo (no puede atravesarse) y CEIT no cuenta con lógica de teletransporte ni modelado 3D. Obviamente, las puertas cerradas imposibilitan el recorrido.
3. En formato OBJ o FBX: los dos formatos soportados por CEIT. Al momento de enviar el modelo debían a su vez adjuntar las texturas y archivos adicionales asociados. Por último, los modelos utilizados siempre estuvieron disponibles para ser cargados antes de iniciar las pruebas, es decir, siempre estuvieron alojados en el path de mapas mencionado en la sección 4.6.3.1.

El objetivo de esta opción consistió en ayudar a los entrevistados a percibir sus propios diseños y a realizar una crítica informal sobre el mismo. Se buscó observar sus reacciones al experimentar la espacialidad del modelo y si lo que diseñaron se trasladaba a un medio

inmersivo como la RV. Por último, de los 7 entrevistados, 4 recorrieron sus propios modelos y 3 la casa Farnsworth.

Las pruebas se ejecutaron bajo el siguiente formato:

1. Introducción hablada de la motivación y propósito de CEIT.
2. Período de adaptación al Meta Quest 2 (10 minutos): primero se les indicaron los nombres y posición de los botones y posteriormente se les permitió probar el videojuego Beat Saber o la aplicación Google Earth VR.
3. Primer contacto en PC con CEIT (25 minutos): primero, frente al selector de mapas, se les indicó que carguen el modelo correspondiente (el propio o la casa Farnsworth) siguiendo las indicaciones en pantalla. Luego, ya en el paseo, se les dió un vistazo por todas las ventanas disponibles y su función. Seguido se les indicaron algunos objetivos puntuales al azar sobre funcionalidades principales (colocar un mueble, aplicar una superficie, tomar una medida o mover el sol). Por último se les permitió recorrer libremente el modelo, pudiendo decorar y cambiar cuanto quisieran.
4. Primer contacto en RV con CEIT (25 minutos): se siguió el mismo procedimiento que en el punto 3 pero usando el visor.
5. Se les entregó un encuesta en formato Google Form<sup>30</sup> para completar.

*Aclaración: durante los pasos 3 y 4 se redujo el diálogo con el entrevistado a fin de observar la usabilidad de la UI diseñada. Se buscó limitar el diálogo a los objetivos indicados en lugar de explicar cómo resolverlos usando la UI. No obstante, en reiteradas ocasiones fue necesario romper esta condición para avanzar con las pruebas.*

Algunas imágenes de los días de prueba en el LINTI y en el domicilio del tesista, se pueden observar en la Figura 5.1.

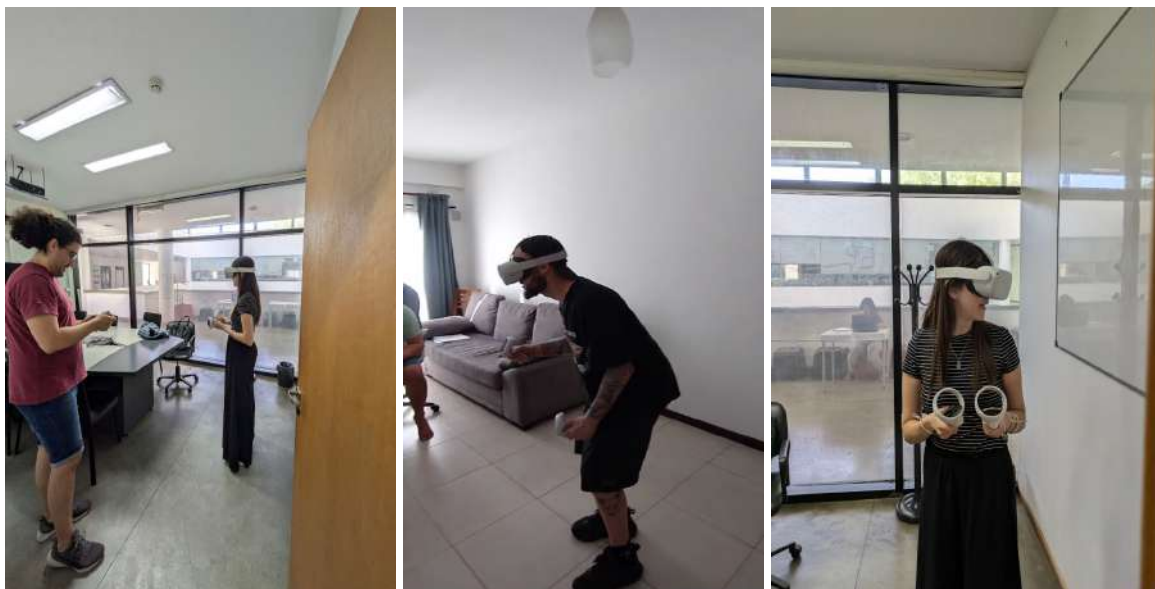


Figura 5.1 - Pruebas con usuarios

<sup>30</sup> Link al formulario: <https://forms.gle/aS82k1wxVnmxuaYn6>

## 5.2. Análisis de las respuestas de la encuesta

La encuesta entregada consiste de 3 partes:

- Recopilado de información personal relevante y segmentación del entrevistado.
- Preguntas específicas para su grupo.
- Conclusiones específicas al grupo y compartidas entre todos.

Los entrevistados fueron segmentados en 3 grupos:

- **Estudiante de Arquitectura (E):** estudiantes activos en la carrera de arquitectura que no se desempeñan en cargos profesionales relacionados. Se entrevistó a 2 personas de este grupo.
- **Arquitecto No Docente (A):** profesional que trata con clientes. Se entrevistó a 1 persona estrictamente de este grupo.
- **Arquitecto Docente (AD):** no necesariamente eran exclusivamente docentes. Se entrevistó a 4 personas de este grupo, aunque al menos 2 de ellas también trabajan para clientes o algún estudio.

A continuación se hará un análisis de los datos obtenidos en las encuestas. Los resultados detallados se encuentran en el Anexo I, organizadas por orden aparición de los gráficos que los usan en las próximas secciones.

### 5.2.1. Sección 1: información personal relevante de los entrevistados

Se entrevistó a un total de 7 personas, con edades entre 25 y 55 años, a quienes se los segmentó en uno de los tres grupos mencionados anteriormente:

El primer dato analizado está relacionado con la experiencia en la creación de diseños. Se definieron 3 rangos:

- 0 a 5 diseños.
- 5 a 10 diseños (0 personas marcaron esta opción).
- Más de 10 diseños.

La Figura 5.2 muestra este relevamiento, en donde se puede observar que la mayoría de los entrevistados poseen experiencia en creación de diseños.

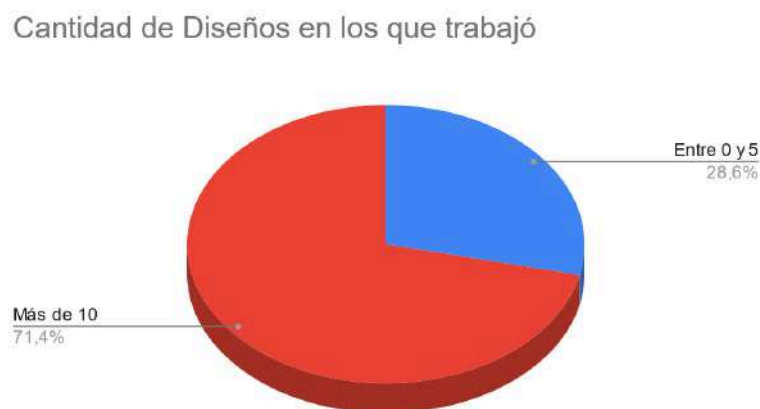


Figura 5.2 - Experiencia en diseños del total de la población encuestada

Se relevó también la experiencia previa en juegos PP en una escala del 1 al 10, donde 1 es muy poca o sin experiencia y 10 es mucha experiencia. Luego se segmentaron 3 grupos:

- 1 - 4 → Sin experiencia.
- 5 - 7 → Jugador ocasional.
- 8 - 10 → Experimentado.

La Figura 5.3 muestra este relevamiento en el que se puede observar la heterogeneidad de los entrevistados respecto a este tema.

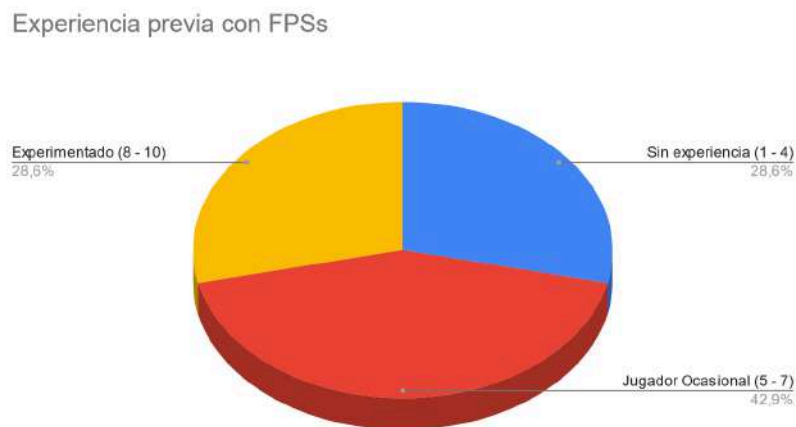


Figura 5.3 - Experiencia con juegos FPS de la población encuestada

Por último, también se relevó la experiencia previa utilizando tecnologías de RV. Se utilizó la misma escala y segmentación del relevamiento anterior. Estos resultados se muestran en la Figura 5.4. En este caso se observa que más de la mitad no poseen experiencia en el uso de aplicaciones RV.

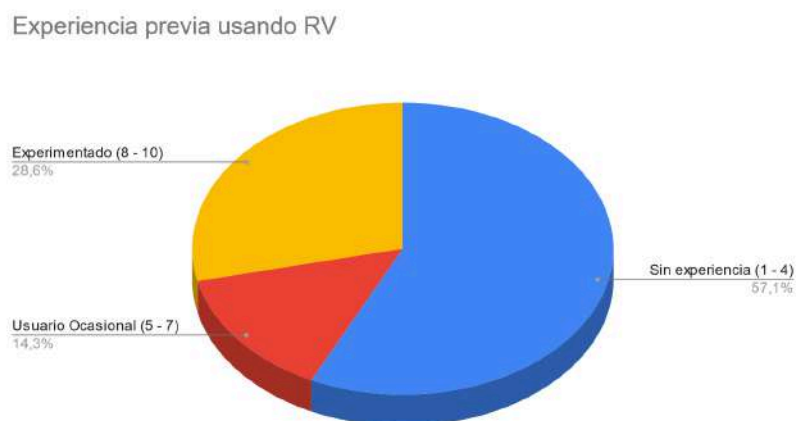


Figura 5.4 - Relevamiento de la experiencia previa utilizando tecnología de RV de la población encuestada

### 5.2.2. Sección 2: información segmentada relacionada al uso de CEIT

En primera instancia se relevó por grupo en cuál de las plataformas que usaron sintieron mejor la percepción de profundidad (o dimensionalidad) del modelo recorrido. Se les dió a elegir entre PC, RV o ambas. La Figura 5.5 muestra las elecciones de los entrevistados segmentadas por grupo. Puede observarse que la mayoría de encuestados percibió mejor las dimensiones del modelo en RV que PC, en particular ambos E y el A optaron por esta opción.

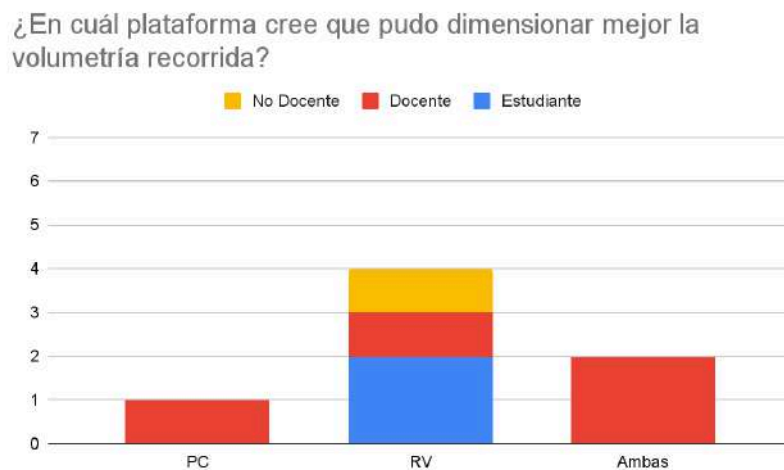
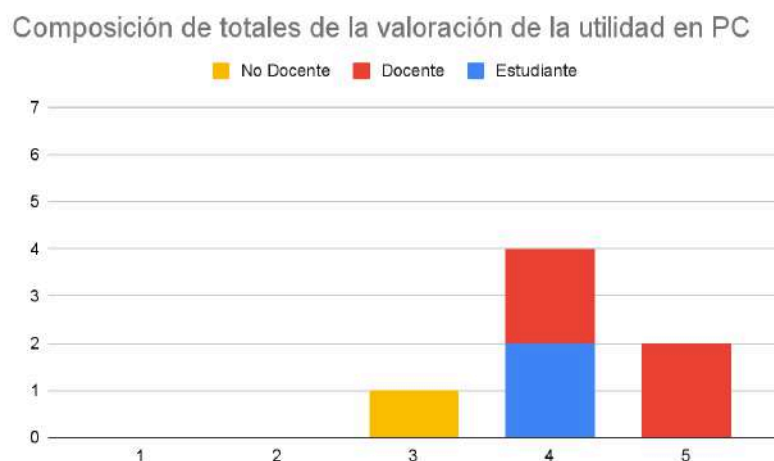


Figura 5.5 - Elección de entrevistados sobre qué plataforma transmite mejor la dimensionalidad del modelo recorrido

Luego se les pidió realizar una valoración sobre qué tan útil les parece CEIT en PC y RV. Se les dió a elegir un número entre el 1 y el 5 donde 1 no es útil y 5 es muy útil. Las Figuras 5.6 (a) y (b) muestran los votos segmentados por grupo. Tanto docentes como estudiantes calificaron a CEIT en PC como de gran utilidad. A su vez, también se observa que casi unánimemente, CEIT en RV fue valorada como extremadamente útil.





Composición de totales de la valoración de utilidad en RV

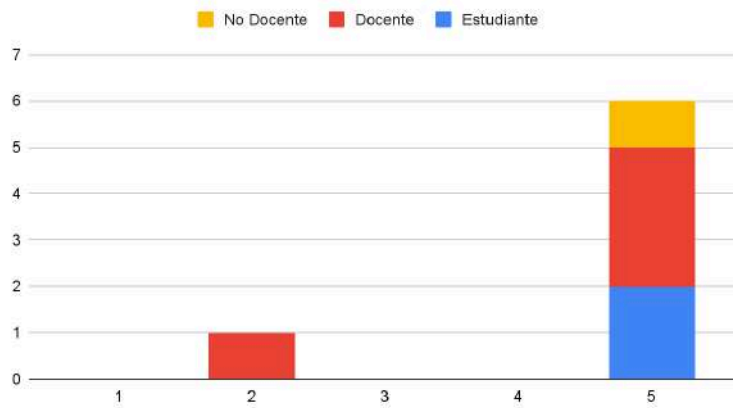
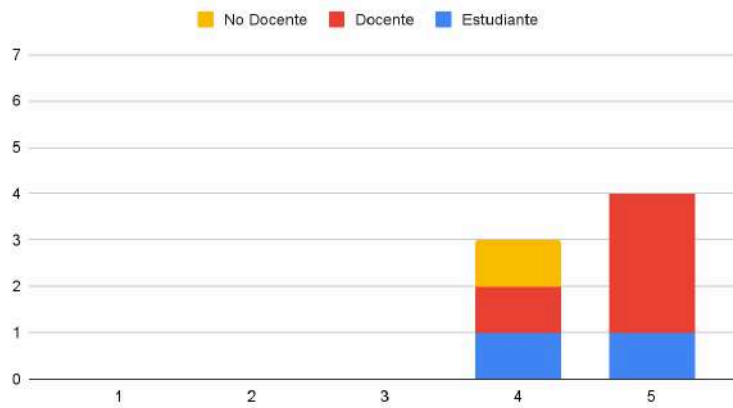


Figura 5.6 - Valoraciones de usuarios sobre la utilidad de CEIT en (a) PC y (b) RV.

Siguiente se les pidió que realicen una valoración usando los rangos de valores anteriores, pero acerca de qué tan intuitiva les pareció la UI en PC y en RV. La Figura 5.7 (a) y (b) muestran los votos segmentados por grupo. Puede observarse que en PC fue valorada como muy intuitiva siendo los docentes quienes mejor la valoraron. Por otro lado, en RV recibió menos calificación por parte de uno de los docentes a pesar de ser igual que en PC.

Valoración de la intuitividad de la UI en PC



Valoración de la intuitividad de la UI en RV

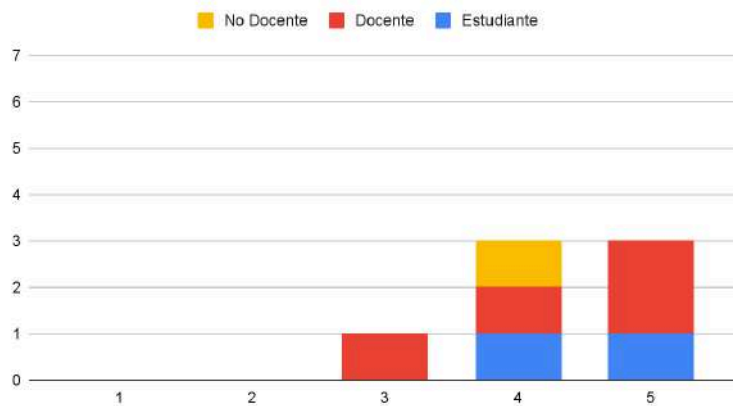


Figura 5.6 - Valoraciones de usuarios sobre qué tan intuitiva sintieron la UI de CEIT en (a) PC y (b) RV.

### 5.2.3. Sección 3: conclusiones segmentadas

Se analizaron las respuestas de la sección conclusiones de cada grupo poblacional. Para este análisis se crearon 3 grupos de preguntas que combinan dos o todos los grupos poblacionales ya que en ocasiones, comparten las mismas preguntas. Por ejemplo: tanto el grupo A como AD comparten la pregunta “¿Utilizaría CEIT con clientes?” y por lo tanto, se creó un grupo de análisis conjunto.

- **Preguntas respecto a lo profesional**

En este grupo se analizaron respuestas respecto al potencial uso de CEIT en el ámbito profesional y con clientes. Los grupos poblacionales cuestionados fueron A y AD. Se les realizaron 4 preguntas de opinión, intercalando 2 de elección única con 2 de texto libre. Las preguntas de elección única son: “¿Utilizaría CEIT profesionalmente?” la cual implica la posible adición de la herramienta al flujo de trabajo habitual de arquitectura; mientras que “¿Utilizaría CEIT con clientes?” implica la adopción del software como herramienta de muestra con clientes.

La Figura 5.7 (a) y (b) muestra el conteo de respuestas a las preguntas de elección única. En ellas se observa que la composición de respuestas es idéntica para ambas preguntas, donde sólo los docentes utilizarían CEIT en ambas plataformas.

En las preguntas de texto libre se les pidió explicar sus respuestas justificando su elección (incluso en voto negativo). En ambos casos (y a grandes rasgos), la mayoría de respuestas coincidió en que usarían CEIT como herramienta de **muestra y visualización** del diseño y tanto **con clientes** como para **ellos mismos**. También añadieron que podría funcionar como catalizador de ideas y disipador de dudas (de los espacios, del decorado, etc). El listado final con estas respuestas así como los datos en bruto obtenidos se encuentran en el Anexo I.



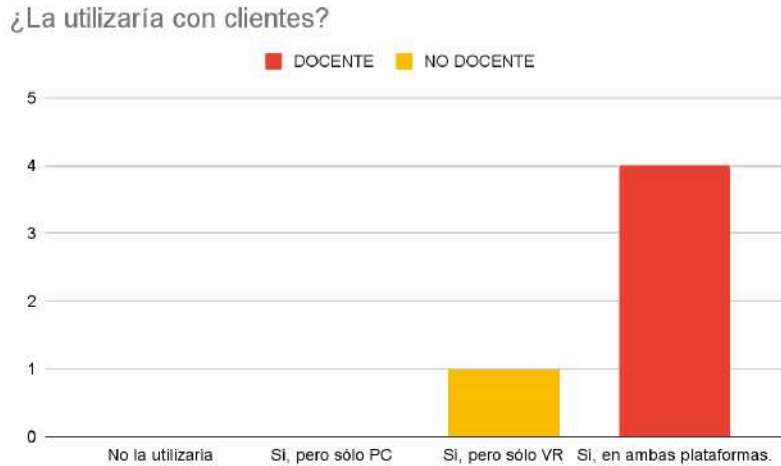


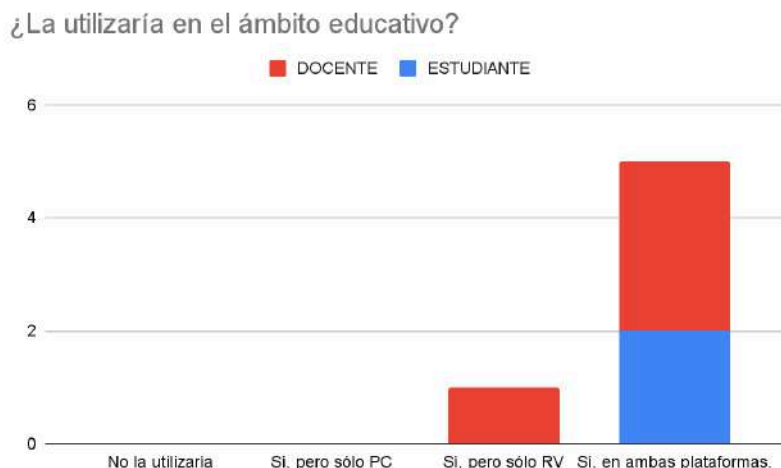
Figura 5.7 - Conteo de respuestas y composición de totales respecto al uso de CEIT (a) en el ámbito profesional y (b) con clientes.

- **Preguntas respecto a lo educativo**

Este análisis sigue el mismo formato que el anterior con la excepción de que los cuestionados son los grupos AD y E. En este caso, las preguntas de elección única son: “¿Utilizaría CEIT en el ámbito educativo?” y “¿Utilizaría CEIT con estudiantes?”.

La Figura 5.8 (a) y (b) muestra el conteo de respuestas de selección única y la composición de los totales. Similar al caso previo, la composición de respuestas vuelve a ser idéntica para ambas preguntas. Aquí, la mayoría de docentes y la totalidad de estudiantes indicó que utilizaría ambas plataformas de CEIT con fines educativos y con alumnos.

Por último, y al igual que el grupo de preguntas anterior, se les pidió su justificación (en texto libre) respecto a estas preguntas. La mayoría respondió que el uso principal que le darían es ayudar con la comprensión de dimensiones del alumnado, para que logren comprender la espacialidad de los lugares. Las respuestas originales están en el Anexo I.



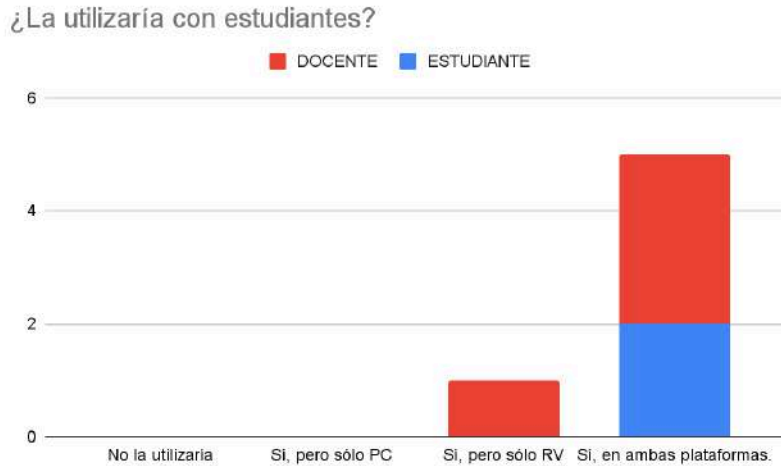


Figura 5.8 - Conteo de respuestas y composición de totales respecto al uso de CEIT (a) en el ámbito educativo y (b) con estudiantes.

- **Preguntas finales**

En este caso, todas las preguntas son compartidas entre toda la población. Se les cuestionó si agregarían funcionalidades (elección única) seguido de cuáles agregaría (en texto libre) y por último se les pidió una calificación general de CEIT.

Si bien originalmente 5 de los 7 marcaron que no agregarían nada, luego en el texto libre enumeraron algunas herramientas que les interesaría ver. Por lo tanto, para este análisis, si el entrevistado completó el texto libre, se considera como que sí agregaría funcionalidades. La Figura 5.9 muestra el total de votos corregido y segmentado por grupo. Puede observarse que la composición de los totales es muy homogénea, siendo el único voto de desempate el del ND.

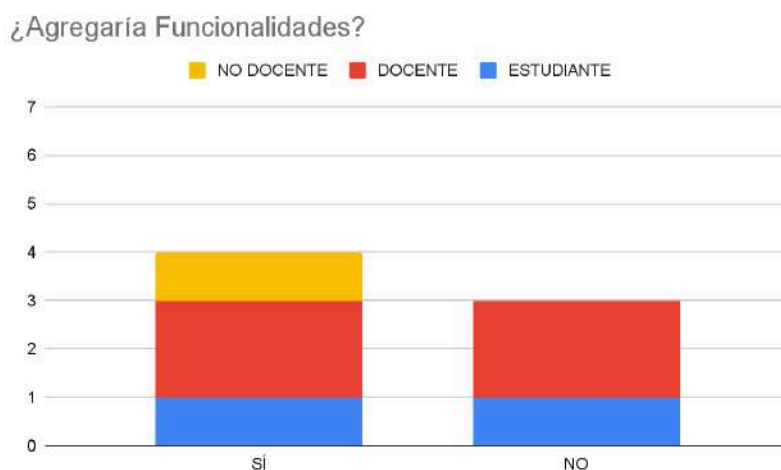


Figura 5.9 - Conteo de votos y composición de totales acerca de agregar funcionalidades.

Luego, entre los pedidos de funcionalidades escritos se destacan (a grandes rasgos):

- Medir los metros cuadrados de un espacio.
- Edición rápida del modelo para evitar volver a un modelador 3D.
- Mejoras de movilidad, como volar.

El segundo ítem es de lo más interesante porque denota la utilidad de permitir realizar múltiples tareas complejas desde el mismo programa (y plataforma). Por otro lado, las funcionalidades pedidas quedan como trabajo futuro. Las respuestas originales se encuentran en el Anexo I.

Por último, la Figura 5.10 muestra las calificaciones otorgadas segmentadas por grupo. La calificación general promedio de CEIT adjudicada por los entrevistados resultó de 9.57.

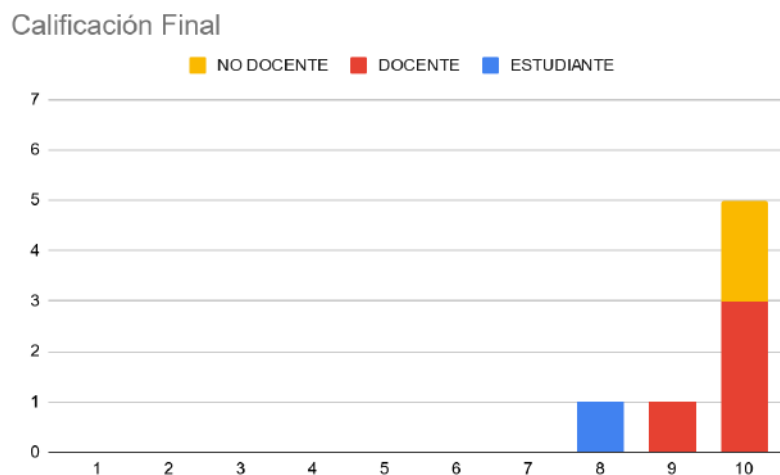


Figura 5.10 - Calificación final de CEIT segmentada por grupos

### 5.3. Observaciones y comentarios

En esta sección se analizan las observaciones de los entrevistados y sus preferencias, sin tener en cuenta el acceso al HW necesario para el uso de CEIT en su modalidad de RV.

La primera observación es la capacidad de adaptación a CEIT de los entrevistados. Para este análisis, se entiende "adaptación" como el incremento de la fluidez con la que el entrevistado utiliza la aplicación a medida que la usa. En PC sólo 4 de los 7 lograron adaptarse coincidiendo con aquellos que expresaron tener algo de experiencia en juegos PP. En RV se adaptaron 6 de los 7 sin importar su experiencia previa con estos sistemas ni con videojuegos en general.

En línea con esto último, es relevante comentar que uno de los entrevistados sin experiencia en ninguna de las plataformas se adaptó con gran facilidad al movimiento en RV pero no en PC. Esto se debió a que realizaba inputs discretos de la tecla W (para avanzar) en lugar de mantenerla presionada. Además, no sincronizó el movimiento del mouse (para mover la cámara) con el movimiento en el entorno virtual ni con el control de interacciones. Sin embargo, al pasar a RV pudo moverse continuamente sin problemas y accionar las interacciones desarrolladas con total naturalidad y fluidez.

Los entrevistados con experiencia en juegos PP comentaron que el control de las interacciones se sentía intuitivo y ágil. Sin embargo, la mayoría no encontró (ni leyó para el caso) las ayudas en pantalla. Esto puede deberse a su ímpetu por probar la aplicación sin necesidad de tutoriales. Para esto, sería interesante, y se deja como trabajo futuro, incorporar una “visita guiada” a través de las funcionalidades de CEIT para introducir nuevos usuarios sin la necesidad de la presencialidad.

Por otro lado, a medida que realizaban el recorrido en PC, los comentarios de los entrevistados eran dirigidos al potencial de CEIT como herramienta de diseño y decoración. Sin embargo, al utilizarla en RV, sus comentarios se enfocaron más en cualidades del modelo (como espacialidad, dimensiones, etc) y de cómo percibían el inmueble diseñado.

Como ya se mencionó antes, 4 personas trajeron sus propios modelos para recorrer. Entre ellos se encontraban:

- 2 de estudiantes: creados con fines académicos. Uno correspondía a un modelo de prácticas y el otro a una tesina de grado de arquitectura muy avanzada (a semanas de ser presentada y defendida).
- 2 de arquitectos: 1 creado para clientes y el otro creado como futuro inmueble del propio entrevistado.

El estudiante que recorrió su **tesina de grado**, al hacerlo en RV, comentó que pudo percibir las verdaderas dimensiones de su proyecto, siendo casi tan amplio como esperaba que fuera.

El **diseño creado para clientes**, al momento de la entrevista, se encontraba en fases de desarrollo. No había sido presentado como diseño final a los clientes, sino que se trataba de la iteración más reciente del proyecto. El arquitecto, al recorrerlo en RV, expresó tanto conformidad como disgusto con el modelo, e incluso señaló que ciertas partes necesitaban nuevas iteraciones o retoques. Por último, expresó que fue gracias la percepción de profundidad de la RV y de la inmersión en el modelo, que pudo detectar estos defectos o disconformidades.

El **diseño creado por y para el arquitecto** que lo recorrió, también se encontraba en fase de desarrollo pero más avanzado. Al recorrerlo en PC, el entrevistado probó distintas combinaciones de superficies en varios espacios en búsqueda de nuevas posibles ideas. Luego, al recorrerlo en RV, se encontró muy satisfecho con el diseño creado y la decoración planteada. Finalmente realizó comentarios de alivio sobre las dimensiones de los cuartos y del ingreso de iluminación natural.

Por último, es posible que el uso que se le dé a la aplicación dependa de la plataforma usada. Por ejemplo, podría ser más cómodo para el arquitecto decorar el diseño en PC (por el fácil acceso a sus otras herramientas) y preparar los espacios para luego verificar lo hecho con RV. Finalmente, con todo lo dicho en mente, sería natural que usasen RV para recorridos con clientes en lugar de PC por la inmersión.

# Capítulo 6 - Conclusiones y Trabajo Futuro

## 6.1. Conclusiones

Luego de llevar a cabo las sesiones de prueba de CEIT con distintos perfiles de usuarios, es posible afirmar que los resultados obtenidos fueron los esperados y que los objetivos pautados para esta tesina fueron cumplidos.

Se estableció un marco teórico que abarcó conceptos importantes de la RV como son la inmersión y la presencia. También se relevaron varios tipos de herramientas de software, entre las que se encontraron algunos de los motores de visualización arquitectónica con soporte para RV y algunos de los motores de juegos más robustos. También se analizaron algunas de las principales funcionalidades, herramientas y limitaciones de los motores de visualización arquitectónica (a la fecha de inicio de la tesina), las cuales más adelante fueron relevantes en la definición de requerimientos. Y por último, también se catalogaron los tipos de sistemas de RV, su HW específico y se relevaron algunos dispositivos comerciales.

Con las problemáticas del diseño arquitectónico en mente y el marco teórico asentado, se establecieron los principios de diseño del prototipo a desarrollar. Luego, se definieron las herramientas de HW y software utilizadas en el desarrollo donde las más importantes fueron el Meta Quest 2 y Unity.

Se desarrolló un prototipo funcional, estable y disponible para PC y RV, el cual es capaz de seleccionar y cargar modelos 3D de inmuebles en tiempo de ejecución, explorarlos libremente, y aplicarles cambios suaves. El prototipo combina el movimiento en primera persona en ambas plataformas y añade algunas de las funcionalidades principales de un software de visualización arquitectónica. El mismo se diseñó enfatizando la facilidad de uso, de aprendizaje, y la paridad de funcionalidades entre PC y RV, dando lugar a controles sencillos y herramientas acotadas pero enfocadas disponibles en ambas plataformas. Por último, y en línea con lo anterior, se diseñó una UI sencilla, intuitiva, inspirada en los software de visualización arquitectónica y que puede utilizarse en las dos plataformas con mínimos ajustes. La misma, en efecto, fue adaptada al mecanismo de interacción específico de PC y de RV.

Una vez concluido el desarrollo del prototipo tuvieron lugar las pruebas de concepto con usuarios. Se convocó a estudiantes de arquitectura y arquitectos graduados a sesiones presenciales de una hora, y se les propuso utilizar CEIT para recorrer y decorar un modelo predefinido o uno creado por ellos. Aquí se anotaron observaciones acerca de los entrevistados y comentarios realizados por ellos. Por último, al finalizar la sesión se les entregó un cuestionario que integraba preguntas de respuesta única con preguntas de texto libre.

Las pruebas de concepto permitieron evaluar la usabilidad y viabilidad del prototipo. Estas sesiones permitieron además, registrar observaciones directas del uso de CEIT así como

mantener diálogo con los entrevistados a lo largo de una hora. Es importante destacar el testimonio de aquellos que recorrieron y decoraron sus propios modelos en RV y que fueron capaces de identificar por primera vez algunos aspectos positivos y negativos del inmueble recorrido. Estas pruebas arrojaron no sólo que el prototipo diseñado es fácil de aprender y utilizar, sino que posee potencial para convertirse en una herramienta educativa y profesional.

## 6.2. Futuras líneas de investigación

Las sesiones presenciales con arquitectos y estudiantes dejaron al descubierto algunas funcionalidades que podrían agregar valor al software. Sumado a esto y por mi experiencia en este desarrollo considero que este trabajo puede continuarse para proveer las siguientes funcionalidades:

- Desarrollo de nuevas interacciones, como por ejemplo poder medir metros cuadrados de una superficie.
- Mejoras de movilidad y control, como la capacidad de volar por el modelo.
- Permitir la edición sencilla y rápida del modelo cargado.
- Desarrollo de una “visita guiada” para mejorar el primer contacto de un usuario con CEIT.



# Referencias

Bockholt, N. *Realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta y ¿qué significa "inmersión" realmente?* (2017). Accesible en [https://www.thinkwithgoogle.com/\\_qs/documents/2027/c922f\\_15\\_perspectivas\\_realidadvirtual\\_quesignificainmersion.pdf](https://www.thinkwithgoogle.com/_qs/documents/2027/c922f_15_perspectivas_realidadvirtual_quesignificainmersion.pdf)

Dhimolea, T. K., Kaplan-Rakowski, R., & Lin, L. (2022). *A systematic review of research on high-immersion virtual reality for language learning*. *TechTrends*, 66(5), 810-824. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00717-w>

Hoffmann, D. Hu (1997), *Virtual Reality: Teaching Tool of the Twenty-first Century?*, in *Perspectives on computing and medical education* (C.P. Friedmann), p. 1076-1081. <http://dx.doi.org/10.1097/00001888-199712000-00018>

Jason, G. (2015). *Game engine architecture*. CRC Press Taylor & Francis Group. <http://ce.eng.usc.ac.ir/files/1511334027376.pdf>

Kaplan-Rakowski, R., & Gruber, A. (2019, noviembre). *Low-immersion versus high-immersion virtual reality: Definitions, classification, and examples with a foreign language focus*. In *Conference Proceedings. Innovation in Language Learning 2019*.

LaValle, S. M. (2023). *Virtual reality*. Cambridge University Press. <http://lavalle.pl/vr/>

Ortiz Fernández, S. (2022). *El uso de la realidad virtual y aumentada a través de un escape room en el aula de inglés*. Trabajo de fin de máster. Universidad de Almería.

Pantelidis, V. (1993). *Virtual Reality in the Classroom*. JSTOR. Retrieved June 27, 2022, from <https://www.jstor.org/stable/44428033>

Piano, R. (2018, julio 13). *The genius behind some of the world's most famous buildings* [Video]. TED. <https://www.youtube.com/watch?v=GRfudKFLAmI>

Schubert, T., Crusius, J. (2002). *Five Theses on the Book Problem. Presence in Books, Film, and VR*, in: *PRESENCE 2002 – Proceedings of the Fifth 38 International Workshop on Presence.*, F. R. Gouveia, F. Biocca. Porto: Universidad Fernando Pessoa, 2002, pp.53-59.

Selzer, M. N. (2021). *Métricas de inmersión para sistemas de realidad virtual*. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Digital UNS. [https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5585/SELZER%20M.N.\\_TESIS.pdf](https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5585/SELZER%20M.N._TESIS.pdf)

Slater, M., & Usoh, M. (1993). *Representations systems, perceptual position, and presence in immersive virtual environments*. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments*, 2(3), 221–233. <https://doi.org/10.1162/pres.1993.2.3.221>

Slater, M., & Wilbur, S. (1997). *A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments*.

Smith, A. C., Bermúdez, J., & Striefel, S. *VISUALIZANDO LA NATURALEZA NO-VISUAL DE LA ARQUITECTURA*. <https://www.academia.edu/download/30829651/ae8d.content.pdf>

Villalobos Alonso, D., Pérez Barreiro, S. M., & López del Río, A. (2020). *Arquitectura en directo. Aprendizaje compartido*. P. 7 - 8.

Wirth, W., Hofer, M. (2009) Präsenzer lebeneine Einführung aus Medienpsychologischer Perspektive, in *Montage AV*, vol. 17, pp. 159–175.

Witmer, B.G., and M.J. Singer. (1998). *Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire*. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7 (3): 225–240.

# Anexo I. Resultado de las entrevistas

## Enlace a la encuesta

La encuesta de la que se obtuvieron los datos de este anexo se encuentra disponible en el siguiente link:

<https://forms.gle/aS82k1wxVnxmuaYn6> .

## Respuestas de la sección 1

### 1. Segmentación de la población

Estudiante de Arquitectura	2
Arquitecto Docente	4
Arquitecto No Docente	1

### 2. Cantidad de diseños en los que trabajó

Entre 0 y 5	Entre 5 y 10	Más de 10
2	0	5

### 3. Experiencia en juegos en primera persona.

Sin Experiencia (1 - 4)	Jugador Ocasional (5 - 7)	Experimentado (8 - 10)
2	3	2

### 4. Experiencia previa usando realidad virtual.

Sin experiencia (1 - 4)	Usuario Ocasional (5 - 7)	Experimentado (8 - 10)
4	1	2

## Respuestas de la sección 2

### 5. ¿En cuál plataforma cree que pudo dimensionar mejor la volumetría recorrida?

Grupo	Elección
NO DOCENTE	RV
DOCENTE	RV
DOCENTE	PC
DOCENTE	AMBAS
DOCENTE	AMBAS
ESTUDIANTE	RV
ESTUDIANTE	RV

6. ¿Qué tan útil le pareció la aplicación en la plataforma PC para comunicar sus ideas respecto al modelo con otros?

Grupo	Calificación
NO DOCENTE	3
DOCENTE	4
DOCENTE	4
DOCENTE	5
DOCENTE	5
ESTUDIANTE	4
ESTUDIANTE	4

7. ¿Qué tan intuitiva le pareció la UI de la aplicación en PC ?

Grupo	Calificación
NO DOCENTE	4
DOCENTE	4
DOCENTE	5
DOCENTE	5
DOCENTE	5
ESTUDIANTE	4
ESTUDIANTE	5

8. ¿Qué tan intuitiva le pareció la UI de la aplicación en RV?

Grupo	Calificación
NO DOCENTE	4
DOCENTE	3
DOCENTE	4
DOCENTE	5
DOCENTE	5
ESTUDIANTE	4
ESTUDIANTE	5

9. (a) Utilizaría esta aplicación en el ámbito profesional?  
 (b) En caso afirmativo: ¿Cómo?; En caso negativo: ¿Por qué?

(a)

Grupo	Respuesta (elección única)
NO DOCENTE	Sí, pero sólo VR
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.

(b)

Grupo	Respuesta (texto libre)
NO DOCENTE	Si la usaría, pero no creo que este sea el propósito fundamental de la aplicación. Ya que a la hora de manejar el diseño de la espacialidad, nosotros estamos entrenados a través del recorrido académico y la experiencia profesional. Sin embargo, la realidad virtual para nosotros podría ser un buen método para la comprobación de que esas experiencias espaciales y sensoriales que diseñamos, se corroboran a través de la aplicación.
DOCENTE	Mostrando la espacialidad generada, en cualquier diseño, ya sea construido o no.
DOCENTE	Reuniones con clientes para definición en etapas de proyecto para que dimensionen los espacios
DOCENTE	Para visibilizar los proyectos
DOCENTE	Como disparador de ideas propias y para el cliente. Sobre todo una vez definida la propuesta, es genial para terminaciones y materiales

10. (a) ¿Utilizaría esta aplicación en el ámbito educativo?  
 (b) En caso afirmativo: ¿Cómo?; En caso negativo: ¿Por qué?

(a)

Grupo	Respuesta (elección única).
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
DOCENTE	Sí, pero sólo VR.
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
ESTUDIANTE	Sí, en ambas plataformas.
ESTUDIANTE	Sí, en ambas plataformas.

(b)

Grupo	En caso afirmativo: ¿Cómo?; En caso negativo: ¿Por qué?
DOCENTE	Para que los estudiantes puedan comprender mucho mejor, la realidad que hasta el momento, solo alcanzan con figuras de poco desplazamiento.
DOCENTE	Quizás para poder experimentar, a veces cuando tenemos ideas creativas, para poder probar con elementos no convencionales y verificar su espacialidad. Ósea, cuando estamos haciendo un proyecto "loco", queriendo ser creativos y no sabemos cómo puede quedar espacialmente cuando esté construido
DOCENTE	En aula taller en el proceso medio de proyecto
DOCENTE	Como herramienta de proyecto, para debatir cuestiones de dimensión y escala sobre todo en los primeros años
ESTUDIANTE	Dimensionar espacios de proyecto, decoración de interiores y prueba de materiales
ESTUDIANTE	Me resultó muy real la forma en la que uno puede diseñar, crear en el modelo PC y verificarlo en VR para dimensionar los espacios de manera real y trabajar sobre ellos.

11. (a) ¿Utilizaría esta aplicación con estudiantes?

(b) En caso afirmativo: ¿Cómo?; En caso negativo: ¿Por qué?

(a)

Grupo	Respuesta (elección única)
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
DOCENTE	Sí, pero sólo VR.
DOCENTE	Sí, en ambas plataformas.
ESTUDIANTE	Sí, en ambas plataformas.
ESTUDIANTE	Sí, en ambas plataformas.

(b)

Grupo	Respuesta (texto libre)
DOCENTE	Tiene una doble aplicación, de visualización para la enseñanza y de expresión para los proyectos en proceso proyectual.
DOCENTE	Muchas veces los alumnos en la carrera de arquitectura no terminan de dimensionar, al igual que un cliente, los espacios. Quizás recorrer a modo de maqueta el proyecto ayuda a dimensionar, verificar lo que estamos proponiendo cómo proyectista y así de manera Más rápida poder corregir lo que estamos trabajando
DOCENTE	~~NO RESPONDIÓ~~
DOCENTE	Idem anterior.
ESTUDIANTE	Para recorrer las obras/trabajos y poder comunicar ideas de proyecto
ESTUDIANTE	~~~NO RESPONDIÓ~~~

## Respuestas de la sección 3

12. (a) ¿Cree que le faltan funcionalidades?

(b) ¿Cuáles?

(a)

Grupo	Respuesta (elección única)
NO DOCENTE	No
DOCENTE	No
DOCENTE	No
DOCENTE	No
DOCENTE	Sí
ESTUDIANTE	Sí
ESTUDIANTE	No

(b)

Grupo	Respuesta (texto libre)
NO DOCENTE	No creo que le falten funciones para el uso fundamental que me imagino. Pero sería fabuloso poder agregar en tema medidas un aproximado de metros cuadrados de los espacios y agregar alguna mínima relación económica con respecto a los materiales de obra.
DOCENTE	~~NO RESPONDIÓ~~
DOCENTE	Quizás se me ocurre que pueda tener algo para hacer alguna modificación rápida, sobre el modelado. En el caso de usarlo cómo proyectista/educativo cuando experimentamos, al estar recorriendo el proyecto poder hacer pruebas rápidas para no tener que volver a los programas de diseño
DOCENTE	~~NO RESPONDIÓ~~
DOCENTE	Poder modificar proporciones del modelo en tiempo real
ESTUDIANTE	Saltar
ESTUDIANTE	~~NO RESPONDIÓ~~

13. ¿Qué calificación le pondría a CEIT?

Grupo	Calificación
NO DOCENTE	8
DOCENTE	10
DOCENTE	10
DOCENTE	10
DOCENTE	9
ESTUDIANTE	10
ESTUDIANTE	10
Promedio	9,571428571

## Anexo II - Autores y enlaces a los recursos utilizados

### Assets obtenidos de Flaticon

Autor	Link
<a href="#">Freepik</a>	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/aluminium-paper_4038710?term=aluminium">https://www.flaticon.com/free-icon/aluminium-paper_4038710?term=aluminium</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/ceiling-lamp_3100528?term=lamp">https://www.flaticon.com/free-icon/ceiling-lamp_3100528?term=lamp</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/fabric_588418?term=sewing+fabric">https://www.flaticon.com/free-icon/fabric_588418?term=sewing+fabric</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/grab_5662833?term=hand+grabbing&amp;page=1&amp;position=5&amp;origin=search&amp;related_id=5662833">https://www.flaticon.com/free-icon/grab_5662833?term=hand+grabbing&amp;page=1&amp;position=5&amp;origin=search&amp;related_id=5662833</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/jogging_1668531?term=run">https://www.flaticon.com/free-icon/jogging_1668531?term=run</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/running_763812?term=running&amp;related_id=763812">https://www.flaticon.com/free-icon/running_763812?term=running&amp;related_id=763812</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/slow_1455342?term=speedometer&amp;page=1&amp;position=21&amp;origin=search&amp;related_id=1455342">https://www.flaticon.com/free-icon/slow_1455342?term=speedometer&amp;page=1&amp;position=21&amp;origin=search&amp;related_id=1455342</a> <a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/botella_3410887">https://www.flaticon.es/icono-gratis/botella_3410887</a> <a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/brujula_9027237">https://www.flaticon.es/icono-gratis/brujula_9027237</a> <a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/casa_2163350">https://www.flaticon.es/icono-gratis/casa_2163350</a> <a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/electrodomesticos_998728">https://www.flaticon.es/icono-gratis/electrodomesticos_998728</a> <a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/habitacion_578008">https://www.flaticon.es/icono-gratis/habitacion_578008</a> <a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/luna_4139162?term=luna&amp;related_id=4139162">https://www.flaticon.es/icono-gratis/luna_4139162?term=luna&amp;related_id=4139162</a> <a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/reloj_2784399">https://www.flaticon.es/icono-gratis/reloj_2784399</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/plant_628324?term=potted+plant&amp;page=1&amp;position=2&amp;origin=search&amp;related_id=628324">https://www.flaticon.com/free-icon/plant_628324?term=potted+plant&amp;page=1&amp;position=2&amp;origin=search&amp;related_id=628324</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/question_471664?term=question+mark&amp;page=1&amp;position=3&amp;origin=search&amp;related_id=471664">https://www.flaticon.com/free-icon/question_471664?term=question+mark&amp;page=1&amp;position=3&amp;origin=search&amp;related_id=471664</a> <a href="https://www.flaticon.com/free-icon/question-mark_3524335?term=question+mark&amp;page=1&amp;position=90&amp;origin=search&amp;related_id=3524335">https://www.flaticon.com/free-icon/question-mark_3524335?term=question+mark&amp;page=1&amp;position=90&amp;origin=search&amp;related_id=3524335</a>
Ultimatearm	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/chair_2271478?term=chair&amp;related_id=2271478">https://www.flaticon.com/free-icon/chair_2271478?term=chair&amp;related_id=2271478</a>



Surang	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/day-and-night_4482084?term=evening">https://www.flaticon.com/free-icon/day-and-night_4482084?term=evening</a>
Smalllikart	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/glass_896234?term=GLASS">https://www.flaticon.com/free-icon/glass_896234?term=GLASS</a>
SeyfDesingner	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/sparkle_8369316?term=spark&amp;page=1&amp;position=1&amp;origin=search&amp;related_id=8369316">https://www.flaticon.com/free-icon/sparkle_8369316?term=spark&amp;page=1&amp;position=1&amp;origin=search&amp;related_id=8369316</a>
justicon	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/web-camera_2804767">https://www.flaticon.com/free-icon/web-camera_2804767</a>
Vector Valley	<a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/basura_8997755">https://www.flaticon.es/icono-gratis/basura_8997755</a>
Iconic Panda	<a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/marco-de-la-foto_8209209">https://www.flaticon.es/icono-gratis/marco-de-la-foto_8209209</a>
Creaticca Creative Agency	<a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/medida_335648?term=medidas">https://www.flaticon.es/icono-gratis/medida_335648?term=medidas</a>
winnievinzence	<a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/pared-de-ladrillo_4930064">https://www.flaticon.es/icono-gratis/pared-de-ladrillo_4930064</a>
Peerapak Takpho	<a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/pared_7339926">https://www.flaticon.es/icono-gratis/pared_7339926</a>
juicy_fish	<a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/persona-de-pie_5557230">https://www.flaticon.es/icono-gratis/persona-de-pie_5557230</a>
AmethystDesing	<a href="https://www.flaticon.es/icono-gratis/sofa_2251788">https://www.flaticon.es/icono-gratis/sofa_2251788</a>
<u>Smashicons</u>	<a href="https://www.flaticon.com/free-icon/cancel_659891?term=close+sign&amp;related_id=659891">https://www.flaticon.com/free-icon/cancel_659891?term=close+sign&amp;related_id=659891</a>

## Assets obtenidos de FreePik

Autor	Link
<u>Freepik</u>	<a href="https://www.freepik.com/icon/firewall_5067979#fromView=resource_detail&amp;position=1">https://www.freepik.com/icon/firewall_5067979#fromView=resource_detail&amp;position=1</a> <a href="https://www.freepik.es/icono/amanecer_16114316">https://www.freepik.es/icono/amanecer_16114316</a> <a href="https://www.freepik.es/icono/puesta-sol_1163766">https://www.freepik.es/icono/puesta-sol_1163766</a>
<u>kerismaker</u>	<a href="https://www.freepik.com/icon/people_13559273">https://www.freepik.com/icon/people_13559273</a>
<u>Pico libre</u>	<a href="https://www.freepik.com/icon/tiles_2949007#fromView=resource_detail&amp;position=0">https://www.freepik.com/icon/tiles_2949007#fromView=resource_detail&amp;position=0</a>

## Assets obtenidos de Emojiterra

<https://emojiterra.com/es/mate/>

## Assets obtenidos de Wikimedia

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:QWERTY\\_keyboard\\_diagram.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:QWERTY_keyboard_diagram.svg)

## Assets obtenidos de Meta (Developers)

[https://developers.meta.com/horizon/downloads/package/oculus-controller-art/?locale=es\\_LA](https://developers.meta.com/horizon/downloads/package/oculus-controller-art/?locale=es_LA)

## Assets obtenidos de Sketchfab

Autor	Link
<a href="#">BlackCube</a>	<a href="https://sketchfab.com/3d-models/quest-2-controller-low-mid-and-high-poly-9f02b77cc27148c986315674c7ed106d">https://sketchfab.com/3d-models/quest-2-controller-low-mid-and-high-poly-9f02b77cc27148c986315674c7ed106d</a>

## Assets obtenidos de Unity Asset Store

<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/floor-textures-4k-179126>

<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/sky/skybox-series-free-103633>

<https://assetstore.unity.com/packages/2d/textures-materials/world-materials-free-150182>

<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/basic-bedroom-starterpack-215986>

<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/furniture/hdrp-furniture-pack-153946>

<https://assetstore.unity.com/packages/3d/props/furniture/pack-gesta-furniture-1-28237>

<https://assetstore.unity.com/packages/tools/modeling/trilib-2-model-loading-package-157548>