

Muñoz-La Rivera, F., Rivera, M., Guerrero, M., Vega, V. & Proboste, M. (2024). Evaluación del diseño de viviendas accesibles mediante realidad virtual, con foco en interacción, maniobras y acceso a instalaciones domésticas. En Herrera, R.F., Salazar, L.A., (Editores), *Actas del IX Congreso Iberoamericano de Gestión y tecnología de la Construcción (IX ELAGEC2024)*.

EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE VIVIENDAS ACCESIBLES MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL, CON FOCO EN INTERACCIÓN, MANIOBRAS Y ACCESO A INSTALACIONES DOMÉSTICAS

Felipe Muñoz La Rivera¹ – felipe.munoz@pucv.cl

Malcolm Rivera² – malcolm.rivera.h@mail.pucv.cl

Matías Guerrero³ – matias.guerrero.c01@mail.pucv.cl

Vanessa Vega⁴ – vanessa.vega@pucv.cl

Mathias Proboste⁵ – mathias.proboste@pucv.cl

¹ *Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Millennium Institute for Care Research (MICARE), Santiago de Chile, Chile*

² *Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Millennium Institute for Care Research (MICARE), Santiago de Chile, Chile*

³ *Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Millennium Institute for Care Research (MICARE), Santiago de Chile, Chile*

⁴ *Escuela de Pedagogía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Millennium Institute for Care Research (MICARE), Santiago de Chile, Chile*

⁵ *Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile*

RESUMEN

Los entornos accesibles son vitales para la calidad de vida de las personas con discapacidad, permitiéndoles desplazarse y vivir de manera autónoma. Aunque existen normativas para el diseño de estos espacios, no siempre se consideran todas las necesidades específicas y falta un método de evaluación del diseño de viviendas previo a su construcción. La realidad virtual (RV) es una herramienta eficaz para evaluar y proyectar soluciones en diseños accesibles, ofreciendo una comprensión inmersiva y precisa desde la perspectiva de las personas con discapacidad. Esta investigación utilizando la metodología de Ciencias del Diseño (DSRM), propone un método para evaluar el diseño de viviendas universalmente accesibles (VUA) mediante RV, enfocándose en las interacción, maniobras y acceso a instalaciones domésticas. Durante las simulaciones, se evalúan maniobras dentro de la vivienda, tiempo para realizar tareas,

y acceso a instalaciones eléctricas y sanitarias. Los resultados muestran la perspectiva de una persona con discapacidad, identificando problemas de accesibilidad y sugiriendo adaptaciones necesarias. La RV facilita soluciones de diseño más inclusivas y personalizadas, mejorando la calidad de vida y promoviendo la inclusión y pertenencia en los hogares de las personas con discapacidad.

PALABRAS CLAVE

Realidad virtual; viviendas universalmente accesibles; BIM; discapacidad

INTRODUCCIÓN

La discapacidad es una condición compleja y personal, que puede variar según factores individuales, ambientales y sociales. En las últimas décadas, se ha reconocido estas complejidades y se ha promovido una visión que reconoce la importancia de la vida independiente y de las barreras sociales y físicas que limitan la participación de las personas con discapacidad (Sheerin et. al, 2015). La promoción de la vida independiente se enmarca en la posibilidad de las personas con discapacidad de desarrollarse de manera autónoma en diferentes situaciones de la vida, según sus posibilidades, donde el entorno debiera ser propicio para ello (Martínez, 2022). Dentro de ello, la vivienda se considera como el espacio inicial prioritario para garantizar este derecho. Garantizar viviendas adaptadas a sus necesidades se establece como una necesidad básica, sin embargo, el diseño actual de las viviendas tiende a limitarse a pautas genéricas, alejadas de las necesidades específicas de los residentes (Roque & Crespillo, 2022).

La digitalización se vuelve un aliado importante en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (Muñoz-La Rivera, et. al, 2021). La generación de modelos 3D basados en BIM, y el diseño y construcción virtual en general permiten anticipar los diseños y adaptarlos a los requerimientos de los usuarios. Sin embargo, en el caso particular de la discapacidad, el cumplimiento solo de aspectos normativos podría no ser suficiente para las necesidades particulares de las personas con discapacidad, donde aspectos espaciales de interacción en primera persona se tornan esenciales para evaluar la habitabilidad real (y útil) de las personas con discapacidad. Ante ello, la realidad virtual, emerge como una herramienta interesante para el diseño de viviendas accesibles. Estudios como los de Mourtzis, que se centra en la manufactura y el diseño de productos de realidad virtual, propone estas tecnología y entornos inmersivos para simular y probar diferentes tipos de diseños, ajustándose de manera rápida y eficiente. (Mourtzis et. al, 2022), La capacidad evaluativa y predictiva en entornos virtuales inmersivos, permite anticipar escenarios y proyectar soluciones, destacando la realidad virtual como una tecnología valiosa. Así, los modelos BIM podrían navegarse y modificarse en entornos inmersivos, facilitando la visualización de viviendas desde la perspectiva de personas con discapacidad e identificando problemas de accesibilidad antes de la construcción o remodelación (Getuli, Capone, & Bruttini, 2020). Así, la realidad virtual permite el diseño de viviendas universalmente accesibles, centrándose en aspectos clave de evaluación y co-diseño con personas con discapacidad.

En este contexto, esta investigación propone el uso de la realidad virtual como una metodología activa para la evaluación de viviendas accesibles, con foco en la interacción,

maniobras y acceso a instalaciones domésticas (eléctricas, mecánicas y de plomería). Se identifican parámetros de interés para la accesibilidad y se propone su evaluación mediante realidad virtual. Se desarrolla una simulación para demostrar la fiabilidad de la solución y los análisis que son posibles de realizar, de cara a generar una herramienta útil para diseñadores, arquitectos, ingenieros y constructores, pero también para fomentar la inclusión de las personas con discapacidad en los procesos de diseño, apuntando al co-diseño.

DISCAPACIDAD Y EL ROL DE LA VIVIENDA ACCESIBLE

La discapacidad es una condición universal que puede afectar a cualquier persona debido a la edad, el envejecimiento, enfermedades y lesiones, que son algunas de las causas más comunes. Las personas con discapacidad son miembros valiosos de nuestras comunidades y todos tenemos la responsabilidad de apoyarlas y cuidarlas. La accesibilidad universal implica que los entornos, servicios y objetos sean utilizables de manera segura y autónoma por todas las personas, independientemente de sus capacidades (Atack et al., 2019).

El diseño universal busca concebir y proyectar viviendas accesibles y utilizables para todos, independientemente de sus capacidades, promoviendo la inclusión y la igualdad. Además, está relacionado con la ergonomía, disciplina que estudia las características, necesidades, capacidades y habilidades humanas para diseñar entornos, productos y procesos de producción seguros, eficientes y confortables (Ceccacci, Germani, & Mengoni, 2012).

Así, el diseño universal abarca a todos los involucrados en el diseño y la construcción de entornos, productos y servicios, incluyendo planificadores, diseñadores, administradores de instalaciones y organizaciones que trabajan con personas con discapacidades. La vivienda debe fomentar las destrezas adaptativas, ofrecer espacios de autodeterminación y mejorar la calidad de vida de las personas (Martínez, 2022). No obstante, los métodos actuales de diseño y evaluación de viviendas accesibles presentan deficiencias al no considerar adecuadamente el factor humano al abarcar la discapacidad. Aunque existen iniciativas que promueven la accesibilidad, no siempre responden a las necesidades específicas de las personas con discapacidad (Boje, et. al, 2020). Es crucial incluir la perspectiva de las personas con discapacidad en el proceso de diseño para abordar mejor los retos específicos a los que se enfrentan. Lograr la accesibilidad universal en la vivienda requiere combinar el papel humano con las tecnologías, ya que la automatización actual no aborda adecuadamente todas las necesidades de las personas con discapacidad. Las soluciones tecnológicas por sí solas pueden no ser suficientes para garantizar una verdadera accesibilidad universal (Malik & Mikolajczak, 2019).

REALIDAD VIRTUAL PARA EL DISEÑO DE VIVIENDAS ACCESIBLES

En los últimos años, la realidad virtual se ha destacado como una herramienta con gran potencial para apoyar el diseño y construcción de infraestructura (Moussaoui, Pruski, & Maaoui, 2012). Esta puede desempeñar un papel valioso en el proceso de adaptación y evaluación de viviendas accesibles, permitiendo un enfoque centrado en las personas (Raimbaud et al., 2021). Su capacidad para crear modelos 3D inmersivos y su precisión en el diseño permiten simular y corregir problemas de accesibilidad antes de la

construcción real (Kaklanis et. al, 2013). Además, la realidad virtual facilita la creación de modelos de viviendas con una precisión sin precedentes, lo que significa que se pueden incorporar medidas de accesibilidad precisas y adaptaciones para personas con discapacidad, garantizando que la vivienda sea completamente accesible y confortable (Budziszewski et. al, 2016). Esto facilita la creación de soluciones personalizadas y específicas para sus necesidades individuales, permitiendo probar los parámetros de accesibilidad existentes. Al incluir sus perspectivas en el proceso de diseño, se pueden abordar mejor los desafíos específicos que enfrentan (Dozio et al., 2021).

Aunque se han utilizado métodos y herramientas de ingeniería y arquitectura, como el Building Information Modeling (BIM), para crear algoritmos automatizados de evaluación del Diseño Universal y se ha explorado el potencial de la realidad virtual en este contexto, aún no se ha aprovechado completamente su potencial en la adaptación real de viviendas para personas con discapacidad (Kang & Kang, 2019). Existen importantes oportunidades para utilizar la realidad virtual como una herramienta eficaz en el proceso ágil y personalizado de diseño y evaluación de viviendas accesibles (Di Gironimo et al., 2013; Atack et al., 2019). Sin embargo, su implementación en casos reales y la inclusión activa de personas con discapacidad en el proceso siguen siendo desafíos pendientes.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La investigación ha utilizado el método de investigación en ciencias del diseño (DSRM), conteniendo cuatro etapas de investigación: 1) Identificación de problemas y motivaciones; 2) Definición de objetivos y posible solución; 3) Diseño y desarrollo; 4) Demostración y evaluación. La Figura 1 muestra la metodología de investigación utilizada. Todo el proceso fue asesorado por un grupo profesional multidisciplinario de personas con discapacidad, encontrándose entre ellos diseñadores de viviendas, desarrolladores, expertos en realidad virtual y expertos en personas con discapacidad y sus cuidados.

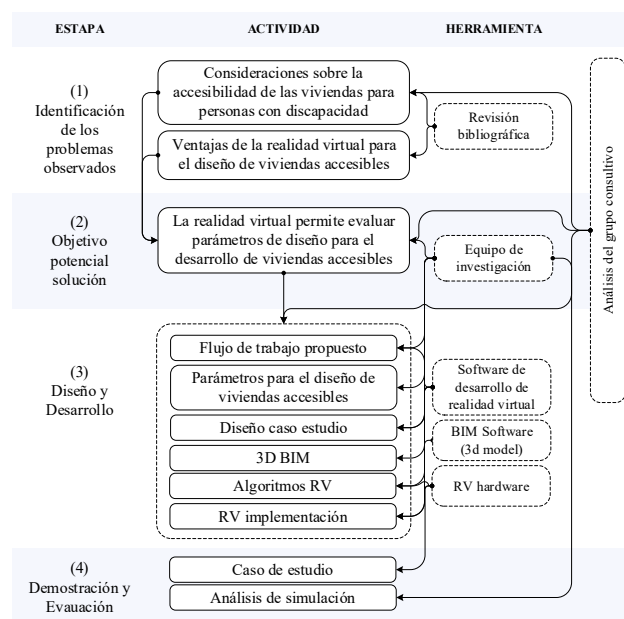


Figura 1. Metodología de investigación.

En la primera etapa, se identificaron aspectos relacionados con el diseño de viviendas accesibles, considerando tanto la normativa como las necesidades específicas de las personas con discapacidad. Además, se exploraron las ventajas y potencialidades de la realidad virtual para el diseño de viviendas accesibles. En la segunda etapa, se definió el objetivo de una posible solución: utilizar la realidad virtual para evaluar parámetros de diseño en el desarrollo de viviendas accesibles, enfocándose en la interacción, maniobras y acceso a instalaciones domésticas (eléctricas, mecánicas y de plomería).

En la tercera etapa, se propuso un flujo de trabajo para aplicar la realidad virtual en el diseño de viviendas accesibles. Se identificaron los parámetros relevantes para este tipo de diseño y se creó un caso de estudio para demostrar la viabilidad de las propuestas. Se modeló una vivienda accesible conforme a la normativa estudiada, y se desarrollaron algoritmos y escenarios en entornos de realidad virtual para crear un entorno inmersivo que replicara las acciones necesarias en una vivienda unifamiliar, acorde a las consideraciones de viviendas sociales en Chile. Posteriormente, se implementó el caso de estudio. Finalmente, en la cuarta etapa Demostración y Evaluación, se estudió el funcionamiento de la herramienta de realidad virtual desarrollada, evaluando los datos que es capaz de entregar y analizado su utilidad, las aplicaciones prácticas y las áreas de mejora identificadas. Cabe aclarar que, por los tiempos acotados del estudio, solo se contempla una iteración entre la etapa tres y cuatro.

MÉTODO PROPUESTO PARA LA EVALUACIÓN DE VIVIENDAS ACCESIBLES EN REALIDAD VIRTUAL

La Figura 2 muestra el Método propuesto para la creación de herramienta en realidad virtual para evaluar el diseño de una vivienda accesible. Este incorpora instancias desde el 2D (pasando luego al 3D y modelos BIM) y entornos inmersivos. Se consideran cuatro etapas: I) Creación de entorno inmersivo de una VUA; II) Definición del movimiento del personaje conceptual (silla de ruedas y manos); III) Establecimiento de colisiones y movimiento del usuario; IV) Interacciones del personaje con los elementos de la experiencia; y V) Herramientas para la analítica y evaluación del diseño en RV.

A continuación, se detallan cada una de las etapas del método propuesto:

- Etapa I) Creación de entorno inmersivo de una VUA. Se comienza desarrollando un modelo BIM en 3D bajo normativa de accesibilidad. El modelo 3D se exporta en formato “FBX” al motor de videojuego Unreal Engine para su inmersión en realidad virtual. Para asegurar un entorno inmersivo, se añaden elementos como población, cielo, iluminación, vegetación y objetos cotidianos como interruptores y puertas, mejorando significativamente la experiencia del usuario.
- Etapa II) Definición del movimiento del personaje conceptual (silla de ruedas y manos). Se busca generar un usuario en el entorno virtual que simula estar sentado en una silla de ruedas, con las limitaciones y capacidades de interacción “restringidas” esta condición. Es crucial definir el modelo conceptual del conjunto (manos, silla de ruedas y cámara), asegurando que el movimiento sea guiado por la silla de ruedas, y el usuario esté pivoteado a esta.

- Etapa III) Establecimiento de colisiones y movimiento del usuario. Se establece la forma de la silla de ruedas para definir colisiones dentro del entorno virtual, implementando colisionadores físicos en la silla y en los objetos circundantes, ya sean estáticos o dinámicos. Se programa el movimiento del jugador. La cámara principal guía el movimiento. Los movimientos se controlan con los joysticks de las gafas de realidad virtual: el izquierdo para avanzar/retroceder y el derecho para girar. Se unifican todos los movimientos para crear una experiencia inmersiva y coherente.
- Etapa IV) Interacciones del personaje con los elementos de la experiencia. Se definen las interacciones del usuario con el entorno, enfocándose en evaluar los parámetros de zonas de circulación y la interacción con instalaciones. Se considera la interacción con puertas y elementos de la vivienda, permitiendo que las manos sintéticas virtuales controlen estos elementos. Cada zona de la experiencia incluye interruptores para luces, integrando todas las interacciones para una experiencia inmersiva.
- Etapa V) Herramientas para la analítica y evaluación del diseño en RV. Se definen niveles dentro de la experiencia, guiando al usuario a través de un recorrido. Se recopilan datos sobre el número de colisiones y el tiempo de permanencia en las zonas de circulación. Al finalizar la experiencia, el motor de videojuegos genera un documento con el número de colisiones, tiempo de permanencia y las interacciones realizadas. Este documento permite crear un mapa de puntos de calor desde la vista en planta de la vivienda, mostrando las áreas de mayor actividad del usuario.

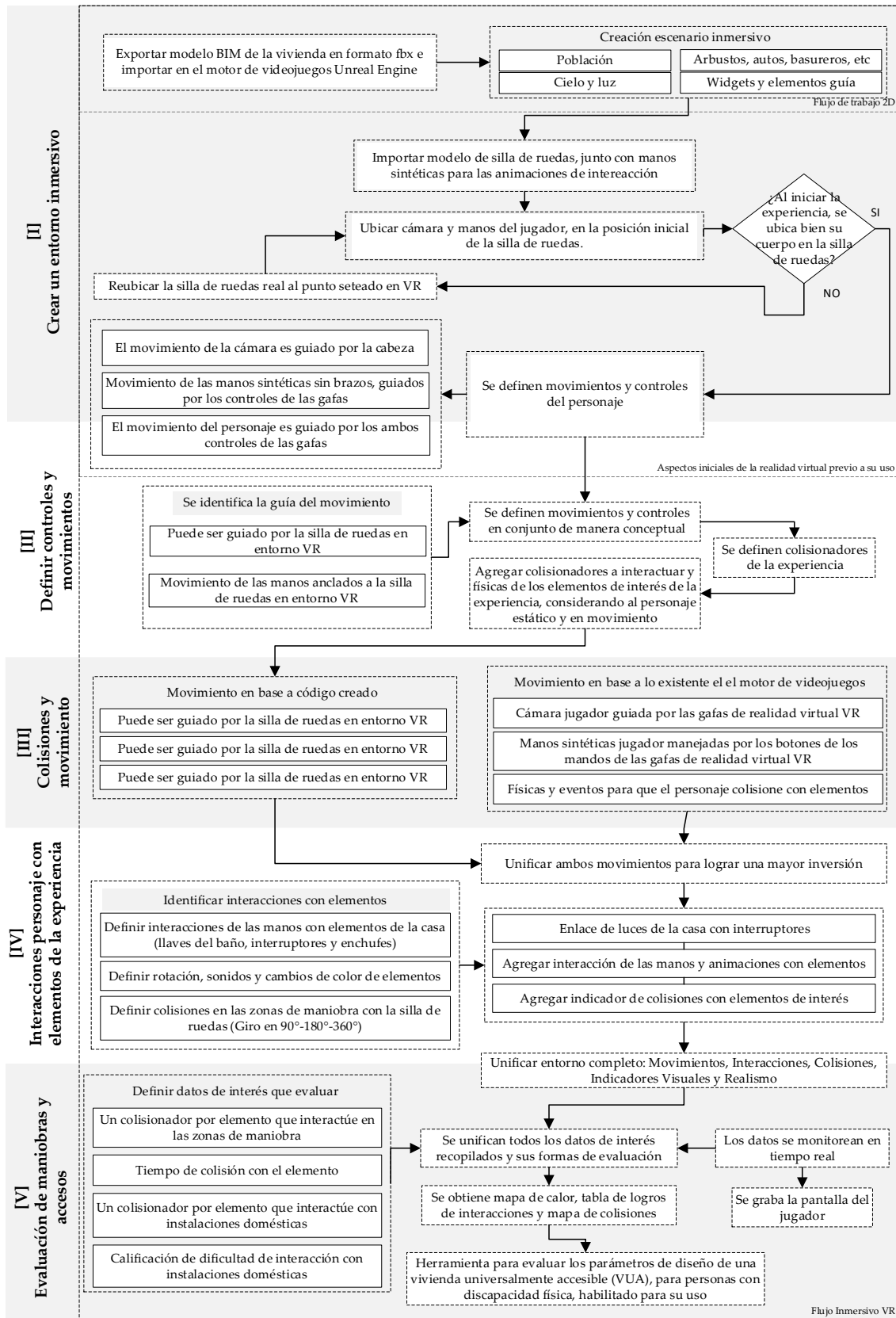


Figura 2. Método propuesto para la creación de herramienta en realidad virtual para evaluar el diseño de una vivienda accesible.

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

VIVIENDA DE CASO DE ESTUDIO

Para la implementación en un caso de estudio, se utilizó el modelo de una vivienda proporcionado por una inmobiliaria dedicada a la construcción de viviendas sociales, cumpliendo los estándares normativos mínimos de accesibilidad. Este modelo contempla un living-comedor, una cocina, baño, habitación principal y dos habitaciones secundarias. Además, para las pruebas y simulaciones, se utilizaron el motor de videojuegos Unreal Engine (en su versión 5.3), gafas de realidad virtual Oculus Quest 2 de Meta, Tv 50” y una silla de ruedas.

DISEÑO EN REALIDAD VIRTUAL

La Figura 3 muestra un diagrama del diseño general de la experiencia de realidad virtual, que se divide en dos niveles: (1) Tutorial y (2) Modelo VUA. Se describen los procesos, elementos e instrumentos necesarios, en base a los distintos objetivos que se busquen evaluar. Así se define la forma en que se desarrollará la simulación, los elementos más importantes y los objetivos de cada proceso.

En (1) - Tutorial tiene como objetivo familiarizar al usuario con los componentes de realidad virtual (mandos, gafas RV y manos virtuales) y la simulación de una Vivienda Unifamiliar accesible (VUA). Se divide en dos etapas: la primera es un Lobby de inicio donde, al colocarse las gafas, la persona se encuentra en una sala de bienvenida con guías visuales que explican los controles, un interruptor para las luces y un botón para iniciar la simulación. Aquí se explica la experiencia y se evalúa la comprensión del uso de las gafas y la capacidad de moverse e interactuar mediante preguntas y observación. La segunda etapa es un recorrido general por la VUA, donde la persona explora desde el exterior hasta cada habitación, conociendo los artefactos y mobiliario sin interactuar con ellos, con el objetivo de familiarizarse con el entorno y los controles. La evaluación se realiza mediante un mapa de calor (tiempo en cada punto) y un mapa de colisiones (choques con elementos), identificando áreas clave para el análisis de accesibilidad.

En esta (2) – Modelo VUA, el usuario debe interactuar y realizar maniobras específicas relacionadas con los parámetros de la Vivienda Unifamiliar Adaptada (VUA) que se desean evaluar. Se le dan instrucciones o "misiones" como prender interruptores, alcanzar enchufes, lavarse las manos o usar el inodoro y recorrer todas las habitaciones de la casa. Además, el usuario puede interactuar libremente con todos los elementos para sentirse inmerso en la experiencia y realizar acciones libremente. Inicialmente, se espera que explore la casa y luego se le solicite realizar acciones específicas en función de su ubicación y los objetos circundantes. La evaluación se realiza mediante un mapa de calor, un contador de interacciones y una tabla de logros, midiendo la capacidad de interacción con elementos domésticos y la dificultad de estas interacciones.

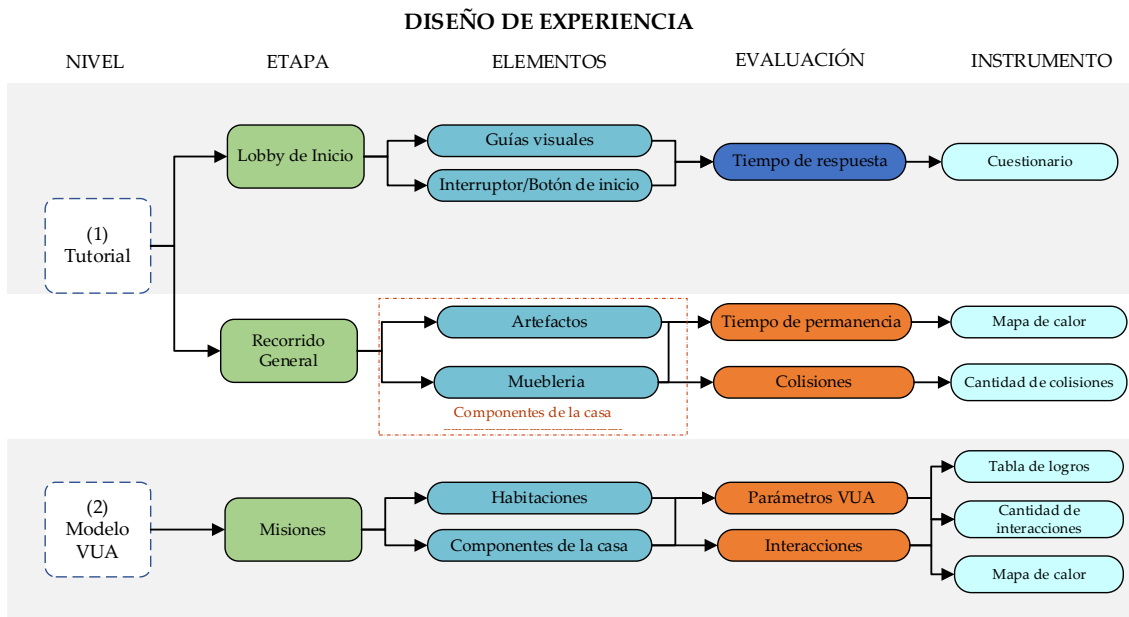


Figura 3. Diagrama del diseño general de la experiencia de realidad virtual.

SECUENCIA EXPERIENCIA

La simulación contempló dos etapas, una de aprendizaje junto a familiarización y otra de interacciones como tal. Para la etapa de inicio del lobby se contempló una bienvenida y explicación tanto de los controles y mandos como del contenido propio de la simulación una vez comenzada. La figura 4 muestra algunas secuencias del desarrollo de esta etapa.



(a)

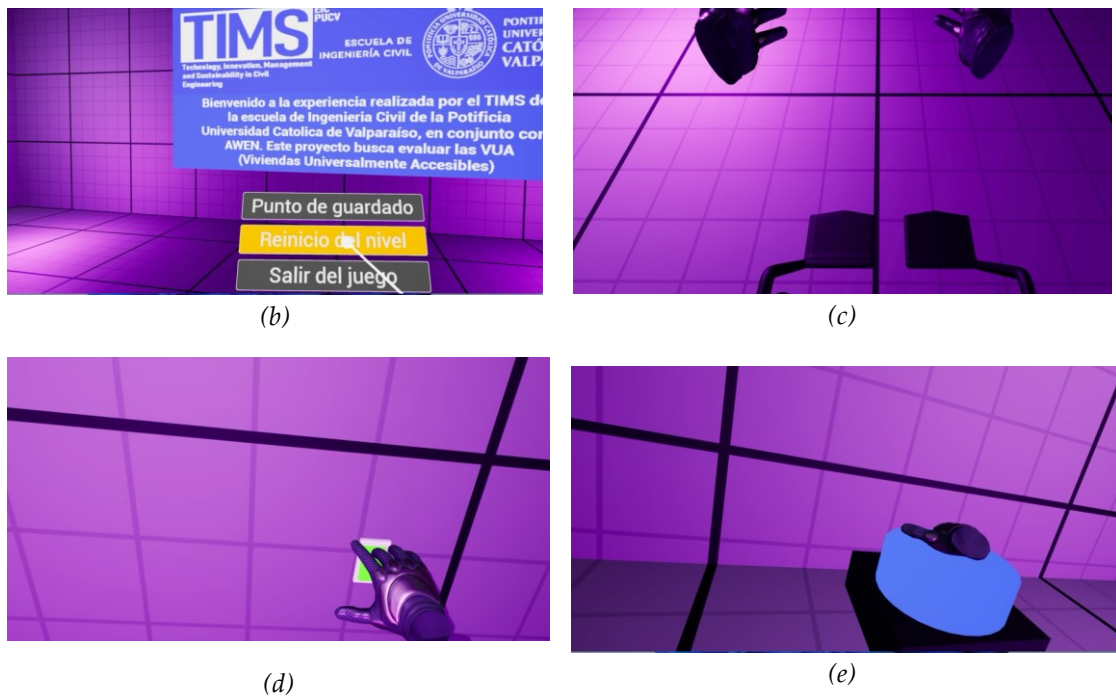


Figura 4. Secuencia de Etapa Lobby de Inicio. (a) Vista general del escenario del Lobby. (b) Panel de bienvenida. Acá el usuario aprende qué hace cada botón. Se muestra un menú del juego para volver a puntos de guardado en caso de quedar estancado en un lugar. (c) Usuario aprendiendo movimientos. (d) Aprendizaje de interacción con elementos eléctricos. (e) Usuario presionando botón que da inicio a la simulación de la VUA.

El desarrollo de la experiencia se caracterizó por el recorrido e interacción con las distintas habitaciones y elementos de la casa, partiendo en el exterior desde la calle, pasando por la entrada principal, luego el interior de la casa (en especial las zonas del baño y cocina) y terminando la experiencia nuevamente en el exterior. La secuencia general de esto se puede visualizar en la Figura 5.



(a)



(b)



(c)



(d)



Figura 5. Secuencia del recorrido e interacciones de la experiencia. (a) Inicio de la experiencia. Aquí se muestran paneles informativos que sirven como indicaciones y guías visuales para el usuario. (b) Entrada principal de la casa. Las zonas amarillas funcionan como puntos de guardado. (c) entrada hacia el living-comedor. (d) Cocina. (e) Baño. Las flechas moradas son indicativos en movimiento para llamar al usuario a interactuar. (f) Habitación principal

RESULTADOS

De acuerdo con los datos obtenidos por los mapas de calor de ambas etapas, se identificaron áreas de las viviendas con tiempos de permanencia significativamente mayores, se logra visualizar de forma general que el baño, la cocina y el living-comedor son las zonas de la vivienda con los mayores tiempos de permanencia. Estas áreas presentan no solo tiempos prolongados de interacción, sino también mayores dificultades para completar las tareas. También se debe mencionar que para el mapa (d), posee esa distribución de puntos, puesto que el experto que realizó la prueba no pudo completar el nivel exitosamente, debido a que presentó problemas para poder aprender a moverse dentro de la experiencia y con el uso de los controles, ocasionando que se quedara estático mucho tiempo en un lugar o atrapado (como es el caso de la entrada de la casa o la entrada del baño).

Un análisis más detallado revela una correlación clara entre los tiempos de permanencia y la dificultad para acceder a los elementos. Como se puede observar de la Figura 6 correspondiente a la segunda etapa, el baño y la cocina tienen los mayores tiempos de permanencia, esto se podría explicar en parte dado que son los espacios de mayor interacción con elementos, vale decir, estas zonas presentan en conjunto tanto las interacciones de los elementos eléctricos como de los elementos sanitarios con dificultad para su interacción, como la llave del lavaplatos en la cocina., a diferencia del resto de habitaciones y zonas de la casa donde solo prima las instalaciones eléctricas. Este patrón sugiere que no solo el diseño del espacio físico impacta la accesibilidad, sino también la disposición de los elementos dentro de esas áreas.

El caso del experto que no pudo completar el nivel es un ejemplo representativo de los retos de la usabilidad en la simulación de realidad virtual. La incapacidad del usuario para familiarizarse rápidamente con los controles resultó en largos tiempos de permanencia en áreas inusuales, como la entrada del baño y la puerta de entrada de la vivienda, lo que

resalta la importancia de una curva de aprendizaje adecuada para la interacción en entornos virtuales.

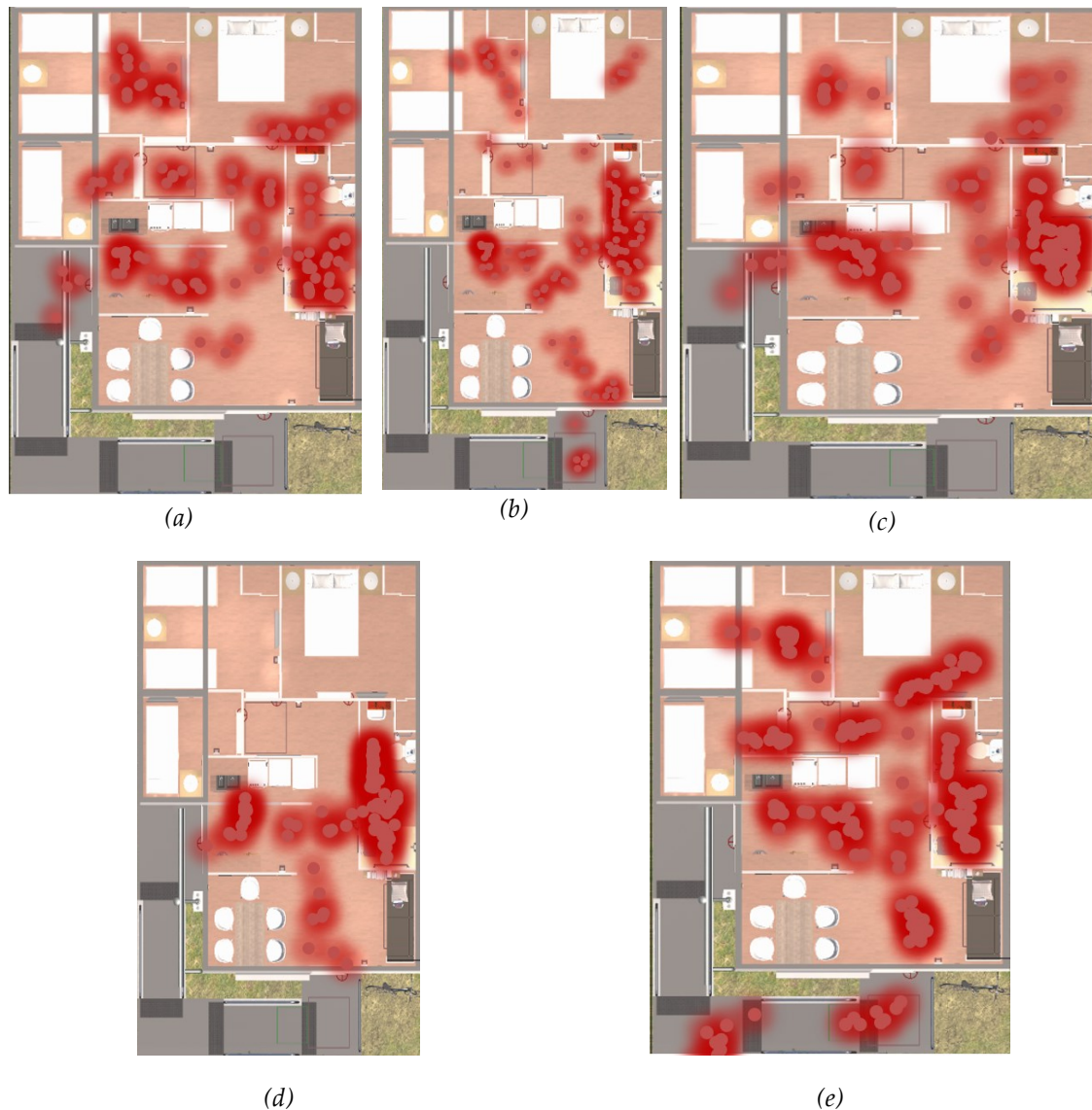


Figura 6. Mapas de calor en etapa del Nivel 2.

Al comparar los mapas de calor con los datos obtenidos en la Tabla 1 de interacciones, se observa que efectivamente existe una relación entre la dificultad para poder alcanzar a interactuar con un elemento y su tiempo de permanencia en esa zona. Un ejemplo de ello es la llave de la cocina, donde en prácticamente todos los mapas de calor el punto donde está ubicado este elemento es de las zonas más rojizas, puesto que se tuvieron muchas dificultades para poder alcanzarla o de plano los usuarios no lo lograron. También ocurre que las zonas como el living-comedor en (e) o como en las habitaciones principales de (a) (c) y (e), resaltan más puesto que en esos lugares se encontraban los interruptores, enchufes o zonas de maniobra, lo que evidentemente hacía que la persona estuviera más tiempo.

Con respecto a la tabla de interacciones, podemos notar que en la mayoría de los lugares se logra acceder a los diferentes elementos de interés, a excepción del caso de la cocina y la habitación secundaria, donde la disposición de los enchufes entre los muebles o entre los artefactos hacía muy difícil interaccionar, sugiriendo que se cambie la ubicación de estos.

Un análisis de los tiempos de permanencia promedio en cada área de las viviendas (Figura 6 y Tabla 1) muestra que las zonas con más elementos de interacción, como la cocina y el baño, tienen un 30% más de tiempo de permanencia que otras áreas, como las habitaciones. Esto se podría explicar por la densidad de los elementos interactivos y las dificultades encontradas por los usuarios para operar alguno de ellos, como los enchufes mal ubicados en la habitación secundaria y los interruptores en la cocina. Estos datos más cuantitativos sugieren que el diseño actual no es completamente funcional y debe ser revisado su diseño.

Tabla 1. Interacciones realizadas a instalaciones eléctricas y sanitarias. La puntuación es de 1 a 3, donde 1 significa que no logra interaccionar con el elemento, 2 logra interaccionar, pero con mucha dificultad y 3 logra interaccionar sin problemas.

Zona de la experiencia	Objeto de interacción	Experto n°1	Experto n°2	Experto n°3	Experto n°4	Experto n°5
<i>Living - Comedor</i>	<i>Interruptores</i>	3	3	3	3	3
	<i>Enchufes</i>	3	3	3	3	3
	<i>Interruptores</i>	3	3	3	3	3
<i>Cocina</i>	<i>Enchufes</i>	2	2	3	2	3
	<i>Llave lavaplatos</i>	2	1	2	2	3
	<i>Interruptores</i>	3	3	3	3	3
	<i>Enchufes</i>	3	3	3	3	3
<i>Baño</i>	<i>Llave lavamanos</i>	3	3	3	3	3
	<i>Llave de paso lavamanos</i>	3	3	3	3	3
	<i>Llave de ducha</i>	3	3	3	3	3
<i>Habitación Principal</i>	<i>Interruptores</i>	3	3	3	3	3
	<i>Enchufes</i>	3	3	3	3	3
<i>Habitación secundaria</i>	<i>Interruptores</i>	3	3	3	3	3
	<i>Enchufes</i>	1	2	1	2	2
<i>Habitación pequeña</i>	<i>Interruptores</i>	3	3	3	3	3
	<i>Enchufes</i>	3	3	3	3	3

En cuanto a los resultados de las opiniones y comentarios de los expertos que probaron la simulación, validan los datos recogidos por los mapas de calor y tablas de interacción. El baño aparece como principal lugar de conflicto en términos de maniobrabilidad como en el de interacciones, con dificultades significativas al intentar moverse entre los distintos elementos sanitarios, tales como el inodoro y la llave de ducha. Estas percepciones se alinean con los tiempos de altos de permanencia en esta área, lo que demuestra una relación directa entre la percepción de falta de espacio y los problemas de interacción efectiva.

Los elementos inaccesibles como la llave de la cocina y algunos enchufes en la habitación secundaria también refuerzan la idea de que la disposición actual no es óptima para usuarios con movilidad reducida. La combinación de tiempos prolongados de permanencia y los comentarios negativos sobre la disposición de los elementos sugiere un conflicto claro de diseño que debe ser resuelto para mejorar la accesibilidad.

En relación a los resultados, tenemos que, por un lado la percepción de los usuarios sobre el espacio para algunas zonas (como el baño) es insuficiente, ya que se percibe una gran dificultad de maniobrar al momento de realizar acciones como girar y moverse al abrir/cerrar puertas o posicionarse para usar artefactos (inodoros, interruptores, llaves), dando la sensación de estar chocando con todos los objetos, todo el tiempo. Por otro lado tenemos tiempos altos de permanencia en dichos lugares donde se generan estas percepciones y mediciones de no alcance de los elementos, estableciendo una relación real de que existen conflictos de diseño y que se identifican problemas de accesibilidad tanto para los espacios como las disposiciones de distintos elementos domésticos, sugiriendo efectivamente que se debiera realizar una revisión y modificación de las dimensiones y las disposiciones de los espacios y elementos diseñados en esta vivienda accesible.

En resumen, los resultados obtenidos muestran que las zonas con mayor cantidad de elementos interactivos presentan mayores tiempos de permanencia y más dificultades de accesibilidad. Las correlaciones entre los datos de los mapas de calor y las interacciones en la Tabla 1 y los comentarios de los expertos indican que existen problemas de diseño tanto en la distribución de los espacios como en la ubicación de los elementos interactivos. Estas observaciones sugieren la necesidad de realizar modificaciones significativas en la disposición de los enchufes, llaves y otros artefactos para optimizar la accesibilidad en estas áreas críticas.

CONCLUSIONES

Para las personas con discapacidad, disfrutar de una vivienda propia, digna y adecuada es esencial para lograr este derecho. Sin embargo, aunque existen iniciativas para diseñar viviendas accesibles, estas no siempre satisfacen las necesidades de personas con diversos tipos de discapacidad, como cognitiva, física y sensorial. En este contexto, la realidad virtual se presenta como una herramienta innovadora que permite identificar parámetros de accesibilidad para el diseño de viviendas, aplicables a los entornos reales en los que viven las personas con discapacidad. Gracias a sus características, la realidad virtual es ideal para involucrar a las personas con discapacidad en la definición de estándares de

diseño de viviendas accesibles que realmente respondan a sus necesidades. Evaluar los parámetros primarios de accesibilidad en viviendas es crucial para garantizar la inclusión y el confort de las personas con discapacidad física.

La evaluación del diseño de viviendas accesibles a través de la realidad virtual ha permitido identificar problemas significativos de accesibilidad en áreas claves como la cocina y el baño, donde las interacciones con los elementos domésticos resultan problemáticas para los usuarios. El análisis de los tiempos de permanencia y las dificultades en la interacción revelan la necesidad de rediseñar ciertos espacios y reposicionar los elementos de interacción para mejorar la funcionalidad y accesibilidad de la vivienda.

Las posibilidades de la realidad virtual para evaluar el diseño de viviendas accesibles permiten reducir costos y tiempos en los procesos de diseño y análisis de productos, ya sean nuevos o en renovación. Esto mejora dichos procesos al incluir herramientas digitales e inmersivas que favorecen la participación de un mayor número de partes interesadas y actores relevantes. Así, se promueve un desarrollo colaborativo que involucra no solo al equipo técnico, sino también a los usuarios finales, quienes a menudo son los más afectados por diseños no inclusivos.

REFERENCIAS

- Sheerin, F., Griffiths, C., De Vries, J., & Keenan, P. (2015). An evaluation of a community living initiative in Ireland. *Journal of Intellectual Disabilities*, 19(3), 266–281. <https://doi.org/10.1177/1744629515573679>
- Martínez, O. (2022). Viviendas para personas con discapacidad intelectual: habitarlas desde la interioridad. *Actas de Coordinación Sociosanitaria*(30), 82-99.
- Roque, P., & Crespillo, L. (2022). O Grupo do Leão, Una nueva Visualidad de Acceso: una propuesta metodológica en torno al uso de la realidad virtual en personas con discapacidad visual. *Arte, Individuo y Sociedad*, 35(1), 29-51. <https://dx.doi.org/10.5209/aris.80509>
- Mourtzis, D., Panopoulos, N., Angelopoulos, J., Wang, B., & Wang, L. (2022). Human centric platforms for personalized value creation in metaverse. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 653–659. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.11.004>
- Getuli, V., Capone, P., & Bruttini, A. (2020). Planning, management and administration of HS contents with BIM and VR in construction: an implementation protocol. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(2), 603–623. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0647>
- Atack, L., et al. (2019). An Emerging model for semi-independent living for persons with intellectual and developmental disabilities. *Inclusion*, 7(1), 57-70. <https://doi.org/10.1352/2326-6988-7.1.57>
- Muñoz-La Rivera, F., Mora-Serrano, J., Valero, I., & Oñate, E. (2021). Methodological-Technological Framework for Construction 4.0. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(2). <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>

- Ceccacci, S., Germani, M., & Mengoni, M. (2012). User centred approach for home environment designing. *ACM International Conference Proceedings Series*. <https://doi.org/10.1145/2413097.2413136>
- Kaklanis, N., Moschonas, P., Moustakas, K., & Tzouvaras, D. (2013). Virtual user models for the elderly and disabled for automatic simulated accessibility and ergonomics evaluation of designs. *Universal Access in the Information Society*, 12(4), 403–425. <https://doi.org/10.1007/s10209-012-0281-0>
- Dozio, N., Marcolin, F., Scurati, G. W., Ulrich, L., Nonis, F., Vezzetti, E., Marsocci, G., La Rosa, A., & Ferrise, F. (2021). A design methodology for affective Virtual Reality. *International Journal of Human-Computer Studies*, 162, May 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102791>
- Kang, S., & Kang, S. (2019). The study on the application of virtual reality in adapted physical education. *Cluster Computing*, 2351–2355. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2254-4>
- Budziszewski, P., Grabowski, A., Milanowicz, M., & Jankowski, J. (2016). Workstations for People With Disabilities: An Example of a Virtual Reality Approach. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 22(3), 367–373.
- Moussaoui, A., Pruski, A., & Maaoui, C. (2012). Virtual reality for accessibility assessment of a built environment for a wheelchair user. *Technology and Disability*, 24(2), 129–137. <https://doi.org/10.3233/TAD-2012-0341>
- Di Gironimo, G., Matrone, G., Tarallo, A., et al. (2013). A virtual reality approach for usability assessment: case study on a wheelchair-mounted robot manipulator. *Engineering with Computers*, 29, 359–373. <https://doi.org/10.1007/s00366-012-0274-x>
- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction*, 114, March 2020, Art. no. 103179. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
- Raimbaud, P., Lou, R., Danglade, F., Figueroa, P., Hernandez, J. T., & Merienne, F. (2021). A task-centred methodology to evaluate the design of virtual reality user interactions: A case study on hazard identification. *Buildings*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/buildings11070277>
- Malik, K., & Mikolajczak, E. (2019). Senior housing universal design as a development factor of sustainable-oriented economy. *Sustainability (Switzerland)*, 11(24). <https://doi.org/10.3390/su11247093>