



**Diseño e Implementación de Ambiente Digital Inmersivo para la rehabilitación de pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve usando tecnología de realidad virtual.**

Omar Andrés Pino Flórez

Maestría en Ingeniería

Asesor

John Fredy Ochoa Gómez

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

<b>Cita</b>	Pino Flórez Omar Andrés [1]
<b>Referencia</b> Estilo IEEE (2020)	[1] O. Pino Flórez, “Diseño e Implementación de Ambiente Digital Inmersivo para la rehabilitación de pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve usando tecnología de realidad virtual.”, Tesis de maestría, Maestría en Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2023.



Grupo Neuropsicología y Conducta GRUNECO



Centro de Documentación de Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Agradecimientos**

Al profesor John Fredy por su guía académica y gran integridad profesional para aportarle a este proyecto de investigación.

A Claudia Ramos y su investigación de doctorado titulada “Desarrollo de una intervención multimodal con énfasis en la anosognosia para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer, a través de tecnologías de información y comunicación, TIC”. Con la cual se articuló el trabajo desarrollado en la maestría y con ello validar en la población la aceptabilidad y pertinencia del uso de la tecnología de Realidad virtual.

A los estudiantes de pregrado Juan Rojas y Juliana Moreno por su apoyo en el desarrollo de la plataforma web donde se alojó la información obtenida por los participantes al usar el ambiente virtual inmersivo e interactivo.

A los miembros del grupo de investigación GRUNECO que aportaron en el pensamiento crítico frente a la investigación.

A mi familia que me han dado apoyo constante para lograr los objetivos propuestos, son fuente de vida, energía y fortaleza constante.

A Dios que, siendo real en mi visión de la vida, sostiene, nutre y acompaña mi caminar.

## Contenido

1. Introducción.....	14
2. Planteamiento del problema .....	16
2.1 Justificación.....	21
3. Objetivos.....	24
3.1. Objetivo General .....	24
3.1.1. Objetivos específicos.....	24
4. Marco Referencial .....	25
4.1. Estado del Arte.....	25
4.2. Marco Teórico.....	33
4.3. Concepto Solución del sistema tecnológico.....	43
4.4. Marco legal.....	45
5. Metodología.....	46
5.1. Tipo de investigación. ....	46
5.2. Enfoque .....	46
5.3. Población.....	46
5.3.1. Criterios de Selección .....	47
5.3.2. Criterios de Exclusión Personas con Demencia.....	47
5.4. Técnicas de recopilación de la información.....	48
5.5. Materiales.....	50
6. Resultados.....	54
6.1. Implementar una metodología de CoCreación para el desarrollo de un ambiente virtual para la rehabilitación de personas con EA en estadio leve usando realidad virtual, la cual incluya el conocimiento de médicos, pacientes y cuidadores. ....	54
6.1.1. Ambientes Virtuales de Referencia .....	56
6.1.2. Concepto del Ambiente Virtual de Remember VR .....	60
6.1.3. Objetivo de Remember VR .....	60
6.1.4. Características principales .....	61
6.1.5. Género .....	62
6.1.6. Propósito y público objetivo.....	62
6.1.7. Jugabilidad.....	63
6.1.8. Estilo Visual primera versión del Ambiente virtual .....	63

6.1.9. Alcance primera versión Ambiente virtual.....	64
6.1.10. Objetos de la primera versión del Ambiente Virtual.....	65
6.1.11. Actuadores del Ambiente virtual primera versión del ambiente virtual.....	66
6.1.12. Movimiento y físicas .....	66
6.1.13. Interfaces .....	67
6.1.14. Arte 3D .....	69
6.1.15. Mecánicas de Juego primera versión ambiente virtual.....	70
6.1.16. Flujo de Juego primera versión del ambiente virtual .....	71
6.1.17. Programación ambiente virtual.....	72
6.1.18. Evaluación primera versión del ambiente virtual.....	72
6.2. Diseñar e implementar un prototipo funcional del ambiente virtual centrado en el usuario teniendo en cuenta la información adquirida en las encuestas. ....	75
6.2.1 Estilo Visual Segunda versión del Ambiente virtual.....	75
6.2.2 Alcance segunda versión Ambiente virtual .....	76
6.2.3. Objetos de la Segunda versión del Ambiente Virtual.....	77
6.2.4 Actuadores del Ambiente virtual segunda versión del ambiente virtual .....	77
6.3. Diseñar un prototipo funcional de un sistema de Telemonitoreo de frecuencia cardiaca y cantidad de movimiento para los pacientes que hacen uso del ambiente virtual usando IOMT y visión por computadora. ....	80
6.3.1. Dispositivo adquisición frecuencia cardiaca desarrollado.....	80
6.3.2. Dispositivo adquisición frecuencia cardiaca Adquirido .....	83
6.3.3. Plataforma Web desarrollada.....	85
6.4. Evaluar el sistema integral desarrollado en un grupo de pacientes con EA en estadio leve para evidenciar su aceptabilidad y pertinencia en el apoyo de procesos de rehabilitación con esta población. ....	93
6.4.1. Nivel de estudio por rango de edad de los participantes .....	94
6.4.2. Nivel de actividad física de los participantes .....	95
6.4.3. Enfermedades base de los participantes .....	96
6.4.4. Problemas a nivel motor y capacidad de ADLs .....	96
6.4.5. Problemas visoespaciales o cardiovasculares.....	96
6.4.6. Evaluación de Aceptabilidad .....	97
6.4.7. Evaluación de Pertinencia .....	99
6.4.7.1 Análisis de resultados de Frecuencia Cardiaca.....	99

6.4.7.2 Pruebas de hipótesis T para dos muestras emparejadas en Análisis de Frecuencia Cardíaca .....	101
6.4.7.3 Pruebas de normalidad para cada una de las variables .....	102
6.4.7.4 Anova para muestras emparejadas .....	102
6.4.7.5 Pruebas de hipótesis T para dos muestras emparejadas en Análisis de Frecuencia Cardíaca .....	104
6.4.8 Análisis de resultados de Movimiento.....	105
6.4.8.1 Variables en Análisis de Movimiento .....	107
6.4.9 Variables en Análisis de Aciertos en el Ambiente Virtual con Cubos rojos y Azules por nivel.....	117
7. Discusión .....	122
8. Conclusiones.....	127
9. Referencias .....	131
Anexos .....	138

### *Lista de Tablas*

Tabla 1 <i>Tratamientos no farmacológicos cognitivos</i> .....	36
Tabla 2 <i>Herramientas de software concepto solución del sistema tecnológico</i> .....	50
Tabla 3 <i>Herramienta de hardware</i> .....	52
Tabla 4 <i>Requerimientos funcionales y no funcionales ambiente virtual</i> .....	55
Tabla 5 <i>Música, duración y ritmo por cada nivel de la primera versión del ambiente virtual</i> ....	65
Tabla 6 <i>Participantes del pilotaje</i> .....	72
Tabla 7 <i>Música, duración y ritmo por cada nivel de la segunda versión del ambiente virtual</i> ...	76
Tabla 8 <i>Frecuencia Adquirida Participantes de la primera versión del ambiente virtual Remember VR</i> .....	83
Tabla 9 <i>Participantes Intervención con el sistema tecnológico y la segunda versión del ambiente virtual inmersivo.</i> .....	93
Tabla 10 <i>Frecuencia cardiaca máxima durante la intervención y frecuencia cardiaca inicial de cada nivel de los participantes durante la interacción con Remember VR</i> .....	100
Tabla 11 <i>Frecuencias cardiacas promedio por niveles de los participantes</i> .....	101
Tabla 12 <i>Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Hombro Izquierdo luego de la intervención con el ambiente virtual</i> .....	108
Tabla 13 <i>Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Hombro Derecho luego de la intervención con el ambiente virtual</i> .....	108
Tabla 14 <i>Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Codo Izquierdo luego de la intervención con el ambiente virtual</i> .....	109
Tabla 15 <i>Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Codo Derecho luego de la intervención con el ambiente virtual</i> .....	109
Tabla 16 <i>Información Consolidada de la cantidad de cubos rojos y azules acertados por nivel</i> .....	117
Tabla 17 <i>Cantidad de cubos generados por nivel</i> .....	143
Tabla 18 <i>Prueba Wilcoxon en promedios de la Articulación de Hombro Izquierdo</i> .....	158
Tabla 19 <i>Prueba Wilcoxon en promedios de la Articulación de Codo Izquierdo</i> .....	159
Tabla 20 <i>Prueba Wilcoxon en promedios de la Articulación de Hombro Derecho</i> .....	160

### **Lista de Figuras**

Figura 1 <i>Indicadores de Enfermedad Alzheimer</i> .....	16
Figura 2 <i>Comparativo enfermedades cognitivas</i> .....	17
Figura 3 <i>Ambientes Virtuales Inmersos</i> .....	30
Figura 4 <i>Cascos estereoscópicos de realidad virtual</i> .....	38
Figura 5 <i>Clasificación (IOMT) y aplicaciones de uso</i> .....	41
Figura 6 <i>Esquema de Arquitectura de Aplicación IOM</i> .....	41
Figura 7 <i>Factores que afectan la Aceptabilidad en el usuario</i> .....	42
Figura 8 <i>Flujo de Creación de proyectos de Bioingeniería</i> .....	43
Figura 9 <i>Concepto solución planteado del sistema tecnológico necesario para la intervención con pacientes y el ambiente de realidad virtual.</i> .....	44
Figura 10 <i>Flujo metodológico</i> .....	48
Figura 11 <i>Actores involucrados en el diseño de Cocreación del ambiente virtual inmersivo</i> .....	54
Figura 12 <i>Juego Beat Saber VR</i> .....	56
Figura 13 <i>Pruebas beat saber.</i> .....	57
Figura 14 <i>Juego X-Booster VR</i> .....	58
Figura 15 <i>Juego Dragon Dance VR</i> .....	58
Figura 16 <i>Juego Box VR</i> .....	59
Figura 17 <i>Pruebas Box VR</i> .....	59
Figura 18 <i>Bosquejo de interacción del usuario con el ambiente virtual inmersivo</i> .....	61
Figura 19 <i>Paleta de colores primera versión del Ambiente virtual</i> .....	64
Figura 20 <i>Objetos a destruir en la primera versión del ambiente virtual Remember VR</i> .....	65
Figura 21 <i>Actuadores primera versión del ambiente virtual</i> .....	66
Figura 22 <i>Objetos a destruir en el ambiente virtual Remember VR</i> .....	67
Figura 23 <i>Menú principal del ambiente virtual Remember VR</i> .....	68
Figura 24 <i>Identificación de usuario del ambiente virtual Remember VR</i> .....	68
Figura 25 <i>Escenario del Nivel 1 en Remember VR</i> .....	69
Figura 26 <i>Escenario Del Nivel 2 En Remember VR</i> .....	69
Figura 27 <i>Escenario del nivel 3 en Remember VR</i> .....	70
Figura 28 <i>Mecánica de cortar primera versión de Remember VR</i> .....	70
Figura 29 <i>Se le dificulta el manejo de las TICs</i> .....	73
Figura 30 <i>Molestias con el casco de realidad virtual</i> .....	74
Figura 31 <i>Satisfacción e intención de implementación de la realidad virtual</i> .....	74
Figura 32 <i>Paleta de colores Segunda versión del Ambiente virtual</i> .....	76
Figura 33 <i>Objetos a destruir en la segunda versión del ambiente virtual Remember VR</i> .....	77
Figura 34 <i>Actuadores segunda versión del ambiente virtual</i> .....	77
Figura 35 <i>Mecánica de golpear en segunda versión de Remember VR</i> .....	78
Figura 36 <i>Dispositivo Adquisición Cardíaca desarrollado</i> .....	80
Figura 37 <i>Participante con dispositivo de frecuencia cardíaca desarrollado</i> .....	81
Figura 38 <i>Aplicación Móvil de Adquisición de Frecuencia Cardíaca</i> .....	82
Figura 39 <i>Dispositivo de Frecuencia Cardíaca Polar H10</i> .....	84
Figura 40 <i>Plataforma Polar Flow Adquisición datos de Frecuencia Cardíaca</i> .....	85
Figura 41 <i>Requerimientos funcionales y no funcionales Plataforma web</i> .....	86



Figura 42 <i>Entrada y salida de ejemplo para una mano procesada por MediaPipe</i> .....	88
Figura 43 <i>Segmentación de pose corporal realizada por MediaPipe</i> .....	88
Figura 44 <i>Imágenes de la secuencia de tecnologías usada</i> .....	89
Figura 45 <i>Imágenes de la estructura de la base de datos</i> .....	89
Figura 46 <i>Sistema Web para visualización y seguimiento de información</i> .....	90
Figura 47 <i>Registro de datos de las sesiones del Usuario con el ambiente virtual inmersivo</i> .....	91
Figura 48 <i>Resultados en el tiempo del uso del ambiente virtual por usuario</i> .....	91
Figura 49 <i>Sección de análisis de movimiento en video en plataforma web</i> .....	92
Figura 50 <i>Nivel de estudio por rango de edad</i> .....	94
Figura 51 <i>Rango de peso por estatura y rango de edad</i> .....	95
Figura 52 <i>Actividad física</i> .....	95
Figura 53 <i>Le gustaría que su rehabilitación sea con TICs y ver su evolución en una página web</i> .....	97
Figura 54 <i>Satisfacción e intención de uso de la tecnología de realidad virtual</i> .....	98
Figura 55 <i>Problemas con el uso de la realidad virtual e intención de recomendar la experiencia</i> .....	99
Figura 56 <i>Prueba de normalidad para las variables del análisis de frecuencias cardiacas</i> .....	102
Figura 57 <i>Gráfica de barras entre el promedio de frecuencia cardiaca del Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3</i> .....	104
Figura 58 <i>Captura Movimiento Tomado de los pacientes durante la intervención</i> .....	106
Figura 59 <i>Prueba de normalidad para las variables del hombro Izquierdo</i> .....	110
Figura 60 <i>Prueba de normalidad para las variables del hombro derecho</i> .....	111
Figura 61 <i>Prueba de normalidad para las variables del codo izquierdo</i> .....	111
Figura 62 <i>Prueba de normalidad para las variables del codo derecho</i> .....	111
Figura 63 <i>Gráfica de barras entre Movimiento promedio del Nivel 1 con la magnitud promedio de la posición inicial en el Nivel 1</i> .....	114
Figura 64 <i>Gráfica de barras entre Movimiento promedio total con relación a la magnitud promedio de la posición inicial en el Nivel 1</i> .....	116
Figura 65 <i>Prueba de normalidad para las variables de cubos acertados</i> .....	118
Figura 66 <i>Gráfica de barras entre Cubos rojos Acertados del Nivel 1 con los Cubos rojos Acertados del Nivel 3</i> .....	119
Figura 67 <i>Gráfica de barras entre Cubos Azules Acertados del Nivel 1 con los Cubos Azules Acertados del Nivel 3</i> .....	121
Figura 68 <i>Aceptación de participantes con el uso de TICs y Realidad virtual para el manejo de la EA</i> .....	138
Figura 69 <i>Actividad física en participantes de la intervención</i> .....	139
Figura 70 <i>Problemas a nivel motor y capacidad de realizar ADLs en participantes de la intervención</i> .....	140
Figura 71 <i>Problemas visoespaciales o cardiovasculares en participantes de la intervención</i> .	141
Figura 72 <i>Script de Creación de Cubos Rojos y Cubos Azules</i> .....	142
Figura 73 <i>Script de Creación de Cubos Rojos y Cubos Azules acertados correctamente en cada nivel del ambiente virtual</i> .....	143
Figura 74 <i>Script de control de los cubos rojos y azules No acertados en Remember VR</i> .....	144

Figura 75 <i>Cambio de Nivel</i> .....	145
Figura 76 <i>Post a la plataforma web de Remember VR</i> .....	146
Figura 77 <i>Continuación del Script del Post a la plataforma web de Remember VR</i> .....	146
Figura 78 <i>Contenido Json de la información enviada a la plataforma web de Remember VR</i> ..	147
Figura 79 <i>Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca promedio del Nivel 1 con relación a la frecuencia cardiaca inicial del nivel 1</i> .....	150
Figura 80 <i>Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca promedio del Nivel 2 con relación a la frecuencia cardiaca inicial del Nivel 2</i> .....	152
Figura 81 <i>Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca promedio del Nivel 3 con relación a la frecuencia cardiaca inicial del Nivel 3</i> .....	154
Figura 82. <i>Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca promedio del Nivel 1 con relación a la frecuencia promedio del Nivel 3</i> .....	155
Figura 83 <i>Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca inicial del Nivel 1 con relación a la frecuencia cardiaca promedio total</i> .....	157

### Lista de Anexos

Anexo A Metodología construcción cocreación – Encuesta pertinencia de la herramienta con usuarios. ....	138
Anexo B Códigos de la programación del ambiente virtual inmersivo de Realidad Virtual.....	142
Anexo C Pruebas de hipótesis t en variables de frecuencias cardiacas .....	149
Anexo D Pruebas de hipótesis No Paramétrica de Wilcoxon en Variables de Movimiento .....	158
Anexo E Encuesta Diagnóstica Cualitativa para evaluar el sistema de Realidad Virtual .....	161

## Resumen

La Enfermedad de Alzheimer (EA) es considerada como el trastorno neurocognitivo mayor más común en la actualidad relacionándose con serios problemas de memoria, y otros síntomas, que afectan directamente la salud del paciente y su cuidador, como la depresión y apatía en etapas tempranas, agresividad, delirios y alucinaciones en etapas tardías. Es de aclarar que existen enfoques farmacológicos y no farmacológicos para el tratamiento y rehabilitación de pacientes con EA. Investigaciones clínicas recientes enfatizan el uso de la tecnología de realidad virtual, en sus siglas en inglés (VR), como un enfoque no farmacológico en la rehabilitación del deterioro cognitivo. La alta inmersión y el polimorfismo la convierten en una opción práctica para tener en cuenta como herramienta de apoyo en el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer.

El departamento de Antioquia cuenta con diferentes investigaciones sobre el Alzheimer y demencia en adultos debido a la mutación genética PSEN1-E280A sin embargo aún no se han explorado a fondo las ventajas asociadas a tratamientos no farmacológicos basados en realidad virtual en la que se busque integrar al diseño; El conocimiento clínico de los pacientes y cuidadores en el ámbito local, de forma que se pueda asegurar un beneficio para él y sus familias.

Por consiguiente, el presente proyecto propone un diseño de cocreación y prueba de un entorno virtual inmersivo e interactivo que permita ser intuitivo para la población adulta mayor en general y logre a través de la interacción con un dispositivo de Realidad virtual estímulos, a través de actividad física de moderada intensidad inducida por el uso del sistema tecnológico desarrollado, evaluando con ello la aceptabilidad y pertinencia de un sistema que integre un ambiente inmersivo y la tecnología de realidad virtual junto con la captura de frecuencia cardíaca y movimiento para el apoyo en el tratamiento de pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve, a través del prototipo diseñado funcional, así como el tele monitoreo de las frecuencias y captura de movimiento, logrando la prueba piloto en un grupo de pacientes donde la evaluación arrojó resultados positivos para futuras estrategias de investigación.

Palabras clave: **Enfermedad de Alzheimer (EA), Deterioro Cognitivo leve (DCL), Tratamiento no farmacológico EA, Realidad virtual.**

## Abstract

Alzheimer's disease (AD) is considered the most common major neurocognitive disorder nowadays and is associated with serious memory problems and other symptoms that directly affect the health of the patient and his or her caregiver, such as depression and apathy in early stages, aggressiveness, delusions and hallucinations in late stages. It should be clarified that there are pharmacological and non-pharmacological approaches for the treatment and rehabilitation of patients with AD. Recent clinical research emphasizes the use of virtual reality (VR) technology as a non-pharmacological approach in the rehabilitation of cognitive impairment. The high immersion and polymorphism make it a practical option to consider as a support tool in the treatment of Alzheimer's disease.

The department of Antioquia has different research on Alzheimer's and dementia in adults due to the genetic mutation PSEN1-E280A, however the advantages associated with non-pharmacological treatments based on virtual reality have not yet been explored in depth, seeking to integrate into the design; the clinical knowledge of patients and caregivers at the local level, so that a benefit for him and his families can be ensured.

Therefore, this project proposes a design of co-creation and testing of an immersive and interactive virtual environment that allows to be intuitive for the elderly population in general and achieve through interaction with a virtual reality device stimuli, through physical activity of moderate intensity induced by the use of the developed technological system, thus evaluating the acceptability and relevance of a system that integrates an immersive environment and virtual reality technology along with the capture of heart rate and movement to support the treatment of patients with mild Alzheimer's disease, through the functional prototype designed, as well as the remote monitoring of frequencies and motion capture, achieving the pilot test in a group of patients where the evaluation showed positive results for future research strategies.

**Keywords: Alzheimer's disease (AD), Mild Cognitive Impairment (MCI), Non-pharmacological treatment of AD, Virtual reality.**

## 1. Introducción

La enfermedad de Alzheimer es una enfermedad neurodegenerativa que, desde un punto de vista clínico, afecta de forma gradual e insidiosa las funciones cognitivas del individuo (memoria, lenguaje, razonamiento, aprendizaje, resolución de problemas, toma de decisiones, percepción, atención, etc.) provocando finalmente una pérdida de autonomía [1]. De acuerdo con Gutiérrez [2], a medida que la población mundial envejece, aumenta el número de personas que padecen la enfermedad de Alzheimer (EA).

El presente estudio presenta la evaluación de la aceptabilidad y pertinencia de un sistema que integró un ambiente inmersivo y la tecnología de realidad virtual junto con la captura de frecuencia cardíaca y movimiento para el apoyo en el tratamiento de pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve, a través de la implementación de una metodología de Cocreación para el desarrollo de un ambiente virtual como herramienta complementaria al manejo de la enfermedad de los pacientes con Alzheimer.

Se usa un ambiente inmersivo de realidad virtual, la cual incluyó para su desarrollo el conocimiento de médicos, pacientes y cuidadores, teniendo en cuenta la información adquirida en encuestas y la retroalimentación profesional de quienes sugirieron la necesidad de contar con un sistema que permitiese monitorear la frecuencia cardíaca y la cantidad de movimiento para los pacientes que hacen uso del ambiente virtual inmersivo usando IOMT y algoritmos de estimación de movimiento por computadora.

En la última etapa, se realiza la evaluación del sistema integral desarrollado en un grupo de pacientes con EA buscando la evidencia y pertinencia del uso de esta herramienta como un apoyo en el tratamiento no farmacológico con esta población.

Con este propósito, se hizo el desarrollo de un ambiente virtual inmersivo, se realizaron encuestas de satisfacción de la experiencia del ambiente virtual desarrollado, se compararon los distintos niveles de intensidad del ambiente virtual, se compararon los movimientos realizados por los usuarios, se establecieron criterios de evaluación para el análisis de movimiento y se presentaron conclusiones frente a la implementación del sistema tecnológico en los pacientes con Enfermedad de Alzheimer.

En este escrito, en la primera parte se expone el planteamiento del problema basado en la caracterización de la enfermedad y el criterio técnico del diseño de los prototipos, los antecedentes de la investigación teniendo en cuenta la realidad virtual y en la segunda parte, se presentan los marcos referenciales teóricos que soportan la pertinencia del estudio, logrando desarrollar en capítulos cada uno de los objetivos propuestos para lograr responder la pregunta de investigación y las proyecciones de la práctica del uso de la tecnología de realidad virtual en el apoyo del tratamiento de enfermedades cognitivas.

## 2. Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud – OMS, la demencia resulta de una variedad de enfermedades y lesiones que afectan primaria o secundariamente al cerebro. La enfermedad de Alzheimer es la forma más común de demencia y puede contribuir al 60-70% de los casos. [3], al mismo tiempo, organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud – OPS, han establecido indicadores importantes sobre este tipo de enfermedades, como se muestra en la siguiente infografía, que denotan que actualmente más de cincuenta millones de personas a nivel mundial sufren EA y el incremento de enfermos no disminuirá gradualmente por el contrario se estima que se acercara a los ochenta millones de enfermos para el año 2040.

**Figura 1** *Indicadores de Enfermedad Alzheimer*



Nota: Tomado de [4]

Debido al gran incremento en el número de casos en todo el mundo, a los altos costos que suele generar el cuidado y atención de los pacientes con Alzheimer a través del tiempo y a las repercusiones que tiene esta enfermedad en el bienestar y en la calidad de vida de las familias, en



los últimos años se han empezado a buscar diferentes formas de tratamiento, con el fin de impedir la aparición de esta enfermedad en personas mayores o detener/retrasar la progresión del deterioro cognitivo y funcional en aquellas personas que ya la tienen [5].

Para Colombia, con relación a la situación global, el Alzheimer representa ser una de las enfermedades cognitivas degenerativas con mayor incidencia, eso es evidenciado por Carga Global de la Enfermedad – (GBO), la cual con el fin de realizar un adecuado cotejo de los resultados de ESENCIA [6], informó la dominación para la enfermedad de Alzheimer a través de una proyección de la frecuencia relativa de esta patología dentro del pool de demencias (entre el 60%-80%).

Como se muestra en la figura 2, se puede observar las prevalencias jerarquizadas de las distintas enfermedades cognitivas obtenidas del GBD en el año 2017, que fueron calculadas en el estudio de ESENCIA y en los que se tuvieron en cuenta a individuos mayores a 15 años de edad.

**Figura 2** Comparativo enfermedades cognitivas

Diagnóstico	Global Burden of Disease (GBD)				Colombia (ESENCIA)		
	Mundo	Latinoamérica	Región Central	Colombia	Cruda	Ajuste por sexo	Ajuste por edad
Migraña	21956	24531	20909	21523	2069	1875	2170
Ataque cerebrovascular	1827	1311	1086	1119	298	304	263
Isquémico*	1439	954	775	770	181	188	154
Hemorrágico*	471	416	365	401	117	116	109
Enfermedad de Alzheimer†	477	418	382	480	475	466	387
Epilepsia	353	584	734	730	580	602	586
Enfermedad de Parkinson	151	127	120	141	115	122	91
Meningitis	135	44	52	70	10	11	10
Esclerosis múltiple	31	17	10	6	19	18	19
Miastenia gravis					11	11	11
Síndrome de Guillain-Barré					9	9	10
Enfermedad de motoneurona	4	2	2	2	6	7	6

*Nota: Tomado Pinilla y otros [6]*

Entre tanto, para el departamento de Antioquia, el Observatorio Nacional de Salud Mental – ONS, [7], posee indicadores importantes, partiendo de ello la Universidad de Antioquia [8] realizó un estudio clínico que culminó en junio del 2022, estableciendo que hay una tendencia creciente de desarrollar la enfermedad en ciertas regiones del departamento, específicamente con veinticinco familias y 6000 descendientes que heredan la enfermedad, y aún no se han explorado a fondo las ventajas asociadas a tratamientos no farmacológicos basados en realidad virtual en la que se integre en el diseño metodologías donde se tenga en cuenta al usuario final en la que se considere el conocimiento clínico de los pacientes y cuidadores en el ámbito local, de tal forma que se pueda asegurar un beneficio para las personas con EA y sus familias.

Además, teniendo en cuenta que el cuidado del paciente está relacionado con la capacidad de movilidad que éste posea. En el contexto sociodemográfico colombiano de la población con EA, a los pacientes se les dificulta asistir a programas de manera presencial ya que algunos viven en área rural, les es difícil transportarse (por cuestiones de infraestructura del lugar de residencia o asuntos económicos), tienen movilidad reducida o presentan alto riesgo de caídas, y en el caso de los cuidadores, estos pueden tener muchas responsabilidades, trabajar tiempo completo o medio tiempo [5].

En distintos estudios que usaron la tecnología de Realidad virtual para realizar entrenamiento cognitivo combinado con un entrenamiento físico se evidenciaron cambios significativos en la atención, planeación, memoria, función ejecutiva, reducción de síntomas psicológicos y de comportamiento asociados al deterioro cognitivo leve, además de lograr beneficios aeróbicos como resistencia y equilibrio [9]. Sin embargo, en las discusiones reportadas de los estudios, enfatizaron que los pacientes adultos en varios casos y oportunidades tenían dificultades para usar los controles de la tecnología con los que se interactuaba dentro del ambiente virtual de la

intervención, se desconcentraban y por ende en algunos casos no finalizaron el estudio, esto debido a que los participantes interactuaron con un ambiente virtual que al ser desarrollado no se les tuvo en cuenta en las fases de diseño para su respectiva retroalimentación pudiendo de esta manera evitar las dificultades que presentaron al momento de interactuar con los ambientes virtuales durante las intervenciones.

Siguiendo este contexto, una investigación realizada por Angulo, [10] titulada “la transformación digital para la calidad de vida en adultos mayores con Alzheimer en Colombia”, hace énfasis en la necesidad de realizar un estudio sobre todos aquellos elementos que proporcionan soluciones a través de la incorporación de tecnologías para aliviar, prevenir o mejorar la calidad de vida de los pacientes que sufren este tipo de enfermedades degenerativas, principalmente a los pacientes adultos mayores de Colombia. Sus resultados estuvieron inmersos en la explicación de que el uso de las TIC en la medicina proporciona herramientas para tratar integralmente a este tipo de pacientes con enfermedades degenerativas progresivas como la demencia.

De igual manera, en términos tecnológicos, otro documento publicado por la Universidad de Antioquia, [11], destaca la importancia de la atención integral a este tipo de pacientes con enfermedades cognitivas significativas, de allí que los profesionales en psicología hicieron énfasis en su investigación, a través de incorporación de la Realidad Virtual (VR) y los Juegos Serios (JS) para su evaluación. Dado el aumento de la producción científica en el campo y la falta de evidencia respecto a la calidad metodológica de los instrumentos desarrollados, bajo una revisión sistemática, los resultados del estudio sugirieron que aún se carecen de instrumentos que validen la posibilidad de incorporar tecnologías válidas, confiables y aplicables aun en evolución.

Por ejemplo, un ensayo técnico publicado en el 2019 [12], destaca que las tecnologías se han convertido en herramientas nuevas, relacionadas con el cuidado de pacientes, esto en referencia

con el sentido ético de la atención, puesto que las nuevas tecnologías generan elementos que permiten el control y seguimiento, sistematizando la información para realizar proyecciones y estadísticas que lleven a la toma de decisiones en pro de mejorar la calidad de vida de pacientes.

La presente propuesta se articula al proyecto titulado: **“Desarrollo de una intervención multimodal con énfasis en la anosognosia para el tratamiento de la Enfermedad de Alzheimer, a través de Tecnologías de Información y Comunicación, TIC”** ganador de la convocatoria 890 del año 2020 para el fortalecimiento de CTEI en Instituto De Educación Superior Públicas [13].

Por lo anterior, se propuso como solución Cocreada, para evaluar la aceptabilidad y pertinencia de un sistema que integre un ambiente inmersivo y la tecnología de realidad virtual junto con la captura de frecuencia cardiaca y movimiento para el apoyo de procesos de rehabilitación en pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve, teniendo en cuenta la implementación de una metodología de cocreación para el desarrollo de un ambiente virtual y una plataforma web de seguimiento de datos de los participantes ante el uso del ambiente virtual.

Surge así la pregunta de investigación:

**¿Cómo desarrollar un ambiente virtual basado en un entorno digital inmersivo e interactivo usando tecnología de realidad virtual que sea aceptable y pertinente para el apoyo de procesos de rehabilitación en pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve?**

## **2.1 Justificación.**

Apoyado en lo anterior, una investigación enfocada a la integración de las tecnologías de la información y la comunicación en la intervención neuropsicológica [13]. Se tuvo un importante reto para demostrar que actualmente las principales TIC que se utilizan para la rehabilitación de los procesos cognitivos son los software, la tele rehabilitación, la realidad virtual, los teléfonos inteligentes, las apps móviles y los videojuegos serios, de allí, que este tipo de herramientas han generado mejoras significativas en las funciones cognitivas (atención, memoria, funciones ejecutivas, habilidades visoespaciales, lenguaje, entre otros) y en diferentes tipos de patologías (traumatismos craneoencefálicos, demencias, epilepsia).

En este orden de ideas, se hace importante que estas estrategias de intervención multimodal empleen herramientas tecnológicas, de tele salud y uso de tecnologías de información y comunicación TIC, sin embargo, en la actualidad la EA no tiene cura, cuenta con diferentes tratamientos farmacológicos y no farmacológicos que ayudan a mejorar los síntomas de la enfermedad. En lo que respecta a la aplicación de tratamientos no farmacológicos en pacientes con EA, la realidad virtual (VR) se presta como recurso tecnológico de gran valor para ser una herramienta terapéutica que permite diagnosticar, mejorar o prevenir los síntomas asociados a los trastornos neurológicos, existiendo evidencia de que produce mejoras cognitivas y motoras en diferentes fases de la enfermedad, incluso en etapas más complejas [14]

Por tal razón, el uso de la realidad virtual ha despertado el interés de clínicos e investigadores, ya que permite a los usuarios hacer frente a situaciones específicas mediante ambientes estandarizados y controlados que emulan la realidad, los cuales son capaces de evocar estados emocionales, cogniciones y comportamientos que son muy similares a los que se experimentan en

la vida cotidiana [16], es decir, posibilita no solo trabajar la rehabilitación funcional a nivel cognitivo sino también a nivel motor.

Por lo general, la ingeniería para la salud se enfoca en el desarrollo de tecnologías de asistencia con el objetivo de apoyar procesos de monitorización de señales fisiológicas, rehabilitación, aprendizaje médico, seguimiento clínico como la telemedicina, entre otros usos. La tecnología de asistencia es de fundamental importancia para las personas con dificultades funcionales permanentes o temporales, ya que mejora su capacidad funcional y permite y mejorar su participación e inclusión en todos los ámbitos de la vida. Los productos de asistencia pueden ser productos físicos como sillas de ruedas, anteojos, audífonos, prótesis, dispositivos para caminar o almohadillas para la incontinencia; o pueden ser digitales, en forma de software y aplicaciones que respaldan la comunicación interpersonal, el acceso a la información, la gestión diaria del tiempo [16].

En Colombia se tiene experiencia con el diseño de Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) enfocadas en el tratamiento de ciertas enfermedades [18], entre ellas el desgaste cognoscitivo suave y la enfermedad de Alzheimer [19]; Sin embargo, actualmente no se cuenta con estudios de corte experimental que usen la tecnología de Realidad Virtual en su diseño e implementación metodológica [20].

El presente trabajo de maestría es novedoso ya que a través de una metodología de cocreación se pudo desarrollar un ambiente virtual inmersivo e interactivo usando tecnología de realidad virtual que pudiera ser intuitivo para la población con deterioro cognitivo leve en la que se tuviera en cuenta las consideraciones no solo de los participantes sino también de los cuidadores y de los expertos en ingeniería y medicina la cual permitió con la interacción de juego implementada, aumentar el ritmo cardiaco de los usuarios generando en ellos una actividad aeróbica de moderada

intensidad que beneficia la salud de los participantes, la cual se ha reportado, genera efectos protectores en el pensamiento abstracto, el juicio y beneficios aeróbicos que repercuten en su bienestar. Además, aunque existen trabajos de la misma naturaleza realizados en otras partes, en nuestra región es un trabajo pionero llevado a cabo con un equipo interdisciplinar.

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo General

Evaluar la aceptabilidad y pertinencia de un sistema que integre un ambiente inmersivo y la tecnología de realidad virtual junto con la captura de frecuencia cardiaca y movimiento para el apoyo de procesos de rehabilitación en pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve.

##### 3.1.1. Objetivos específicos

- Implementar una metodología de Cocreación para el desarrollo de un ambiente virtual para la rehabilitación de personas con EA en estadio leve usando realidad virtual, la cual incluya el conocimiento de médicos, pacientes y cuidadores.
- Diseñar e implementar un prototipo funcional del ambiente virtual centrado en el usuario teniendo en cuenta la información adquirida en las encuestas.
- Diseñar un prototipo funcional de un sistema de Telemonitoreo de frecuencia cardiaca y cantidad de movimiento para los pacientes que hacen uso del ambiente virtual usando IOMT y visión por computadora.
- Evaluar el sistema integral desarrollado en un grupo de pacientes con EA en estadio leve para evidenciar su aceptabilidad y pertinencia en el apoyo de procesos de rehabilitación con esta población.



## **4. Marco Referencial**

En la literatura, se encuentran reportados estudios que usan tecnología y herramientas digitales con el fin de diagnosticar, mejorar y establecer los efectos de las enfermedades asociadas al Deterioro Cognitivo Leve (DCL) y la enfermedad de Alzheimer (EA). Sin embargo, se describe a continuación las investigaciones con respecto al tema, útiles para este estudio.

En un esfuerzo por optimizar la eficacia de las medidas farmacológicas en el tratamiento de los síntomas neuropsiquiátricos, a la vez que se disminuye el riesgo de aparición de eventos adversos, en los últimos 20 años se han diseñado diferentes aproximaciones de carácter multimodal, es decir, que combinan el tratamiento farmacológico y no farmacológico con intervenciones cognitivas, conductuales, psicoeducativas, ocupacionales y de familia.

Los resultados de tales combinaciones han llevado a la conclusión de que los abordajes más útiles para mantener y maximizar el funcionamiento en enfermedad de Alzheimer, disminuir carga del cuidador y por tanto mejorar calidad de vida para ambos componentes del cuidador - paciente con demencia, son aquellos que mezclan intervenciones individualizadas, interdisciplinarias y holísticas como se evidencia en los estudios planteados a continuación.

### **4.1.Estado del Arte**

Un estudio piloto de AETSA, de método mixto (n=10) examinó los efectos de una experiencia de un bosque en Realidad Virtual Interactiva o sus siglas en inglés - IVR interactivo de 15 minutos para evaluar el nivel de compromiso, apatía y estados de ánimo de las personas con demencia y encontró que el uso de IVR trajo placer a los participantes, pero también aumentaron sus niveles de miedo y ansiedad. Además, no está claro hasta qué punto el entrenamiento cognitivo basado en IVR puede beneficiar la cognición en pacientes diagnosticados con DCL o MD. Las revisiones sistemáticas también han informado resultados mixtos [21].

En este estudio, se desarrolló un programa de entrenamiento cognitivo basado en IVR, el supermercado virtual chino (CVSM), para su uso en adultos mayores con DCL y MD, y se realizó un estudio de prueba previa y posterior para evaluar los efectos en los resultados neuropsicológicos en adultos mayores con DCL y MD. Después de la sesión de entrenamiento cognitivo basada en IVR de 5 semanas, los pacientes con DCL y MD habrían mejorado significativamente en todas las mediciones de la función cognitiva.

De igual forma, un estudio realizado por Zhao et al, [22], diseñaron comportamientos de desplazamiento visual impredecibles en realidad virtual para observar cómo los pacientes con EA movilizaban diferentes funciones cognitivas durante el estímulo para inspirar el ajuste de postura auto compensatorio (CPA). Se pidió a los participantes que se pararan en un tramo de escaleras y fueron guiados por un entorno de realidad virtual que produjo una ilusión virtual de que estaban a punto de caer al desencadenar cambios dramáticos en la posición espacial o acciones inductivas de avatares virtuales. Luego, los investigadores observaron el tiempo de reacción y la frecuencia de aceleración de CPA después de que ocurriera la alteración visual entre dos grupos.

Veintiún pacientes con EA se incluyeron en el grupo experimental y 19 personas sanas en el grupo de control. Después de la tarea, los pacientes que cayeron y no cayeron en el grupo experimental se dividieron nuevamente en dos grupos y los datos se procesaron por separado. Los resultados mostraron que los pacientes con EA (tanto los que se cayeron como los que no se cayeron) tuvieron un mayor tiempo de retardo de reacción ante el cambio espacial con riesgo de caerse. Al mismo tiempo, los datos recopilados por el sensor mostraron que la banda de frecuencia de movimiento de su cuerpo estaba en un nivel más alto que el de las personas normales en el grupo de control.

El resultado mostró que, en las tareas de VR basadas en el paradigma del conflicto sensorial, los pacientes con EA tienen una estabilidad postural inherentemente más baja que los sujetos del grupo

de control debido a la disminución de la función cognitiva visual y algunos estados de ánimo negativos parecían ser ansiedad y miedo. Las tareas fueron activadas al azar por los investigadores de forma manual, lo que evitó la adaptación de la tarea causada por actividades repetitivas y mejoró la validez de la tarea. Todos los sujetos recibieron cinco series de pruebas, cada una de las cuales duró 30 segundos, y las tareas se completaron en medio día. Los sujetos estaban en una habitación segura donde se podían ignorar los efectos de los factores de tiempo y espacio. Este sistema era más adecuado para la evaluación cualitativa de los pacientes con EA, ya que el número y la calidad de las tareas no eran suficientes para respaldarlo como programa de capacitación [22].

Una mini revisión de las intervenciones basadas en la realidad virtual para promover el bienestar de las personas que viven con demencia y deterioro cognitivo leve, fue realizada por [23] D’Cunha y otros, donde la tecnología de asistencia, incluida la realidad virtual y la realidad aumentada, ha ganado interés como una intervención novedosa en una variedad de entornos clínicos. Esta tecnología tiene el potencial de proporcionar estimulación mental, una conexión con la memoria autobiográfica a través de la reminiscencia y una mejor calidad de vida (QoL) para las personas que viven con demencia (PLWD) y deterioro cognitivo leve (DCL).

En esta mini revisión, examinaron la evidencia disponible de los estudios que informan sobre los beneficios potenciales de la realidad virtual y aumentada para proporcionar actividades placenteras y de ocio que pueden promover la calidad de vida y el bienestar psicológico y facilitar la interacción social. En total, se examinaron 10 estudios de diferentes diseños y duraciones (5 min a 6 meses) que utilizaron realidad virtual (n = 9) y aumentada (n = 1) en PLWD (n = 6) y DCL (n = 3), además de 1 estudio que incluyó participantes con ambas condiciones.

En Colombia [16] Diaz y Flórez a través de su artículo expresaron el uso de la Realidad Virtual en el tratamiento de enfermedades cognitivas, esto viene aplicándose desde los años 90, desde el

punto de vista de una revisión sistemática y desde la neurología psicológica, arrojando resultados interesantes, puesto que la realidad virtual, está en crecimiento y evolución, inclusive para ser parte de herramientas efectivas de tratamiento psicológico y médico en el tratamiento de trastornos cognitivos o demencia en particular. Su aceptación parece muy favorable entre las personas que padecen demencia. No obstante, es importante pensar que las nuevas tecnologías como herramienta no sustituye al terapeuta. Asimismo, se señala la necesidad de más investigaciones minuciosas y metodológicas que determinen la eficacia de este tipo de intervenciones.

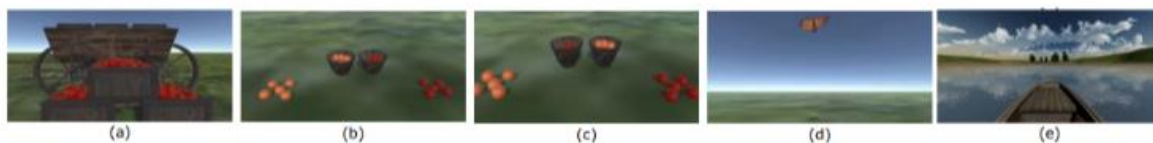
Por otra parte, un estudio realizado por Escobar y otros, [24] se planteó resolver problemáticas intervenidas en psicología basada en la virtualidad, estas se enmarcan en desordenes en la ingesta de alimentos, estados depresivos, rehabilitación cognitiva principalmente en pacientes con Alzheimer y manejo del dolor, su principal propósito fue indagar el estado actual de las intervenciones virtuales en la psicología antes de la pandemia. Sus principales resultados en la revisión realizada estuvieron enfocados en los artículos investigados donde se halló que la realidad virtual (VR) es el instrumento más usado para realizar acciones de psicología virtual antes de la pandemia COVID-19.

Otra publicación realizada por la Academia nacional de Medicina, [25], los entornos virtuales (VE) basados en realidad virtual, se presentan como una herramienta tecnológica funcional que puede ser de ayuda en el tratamiento de la demencia, los cuales pueden suministrar entornos de apoyo para las actividades diarias como la de aumentar la independencia física y mental de los pacientes pues se ha descubierto que la pérdida de autoestima relacionada con la dependencia en las actividades diarias puede ser una experiencia devastadora que impacta directamente de forma negativa en su calidad de vida.

La realidad virtual (VR) es una nueva tecnología informática que se creó con el desarrollo de la tecnología multimedia y se utilizó en la ciencia militar antes de aplicarse a las ciencias médicas [26]. La realidad virtual es un efecto generado por computadora que puede simular una escena dada a través de gráficos 3D y otras experiencias sensoriales (visión, tacto y sensación de movimiento) [27] mediante el uso de dispositivos electrónicos especiales como teclados de computadora, ratones de computadora, reconocimiento de voz/habla, sensores de movimiento y dispositivos hápticos [28]. La VR se puede dividir en 2 tipos según el grado de inmersión: realidad virtual no inmersiva e inmersiva (IVR). El sistema no inmersivo es una realidad virtual basada en escritorio con poca interacción (como con un teclado y un joystick). IVR se caracteriza por el uso de herramientas más interactivas, incluida un casco montado en la cabeza y un entorno virtual, que permite a los pacientes interactuar con él desde la perspectiva de primera persona [29].

Un estudio titulado Diseño Participativo de un Ejercicio de Realidad Virtual para Personas con Deterioro Cognitivo Leve [30], en el estudio, se analizaron los hábitos de las personas adultas con deterioro cognitivo leve y percibieron que pasaban gran tiempo viendo televisión por lo cual enfocaron soluciones con realidad virtual para motivar en ellos el movimiento y el ejercicio, entre los ambientes virtuales que construyeron está el de recoger tomates en una canasta, mirar el desplazamiento de una mariposa y el de realizar el movimiento de remo en una canoa, todos ellos buscando el movimiento de los usuarios dentro del ambiente virtual como se muestra en los ambientes virtuales de la siguiente figura.

*Figura 3 Ambientes Virtuales Inmersos*



(a) Recoger tomates en canasta, (b) Clasificación de frutas, (c) Clasificación cruzada de frutas, (d) Ver mariposa volando, (e) Remar en una canoa.

Nota: Tomado de [30]

Los participantes de la prueba que estuvieron presentes en la intervención pudieron hacer los ejercicios, y su retroalimentación fue muy positiva. De igual forma, la presencia de profesionales y personas con demencia durante todo el proceso de diseño fue muy beneficiosa para crear una herramienta de fácil uso y atractiva, así como para identificar áreas que podrían mejorarse aún más. En conclusión, el enfoque ilustrado a través de este estudio de caso resultó en una nueva manera para que los adultos mayores con DCL realicen actividades físicas divertidas y adaptadas a sus capacidades.

Otra investigación realizada por Gamito y otros [31], cuyo objetivo fue evaluar el uso de ejercicios cognitivos basados en tecnologías de la información y la comunicación TIC usando la realidad virtual en conjunto de ambientes virtuales que emulaban actividades de la vida diaria mediante los cuales se pudiera entrenar diferentes dominios cognitivos (Memoria visual, atención y flexibilidad cognitiva), encontraron que el uso de estas tecnologías ofrecen validez ecológica, es decir, que hay transferencia de lo aprendido en el ambiente virtual en la vida real de los participantes, también, luego de la intervención, se reportó con significancia estadística que se mejora en funciones cognitivas como la atención, memoria visual y dos indicadores de flexibilidad cognitiva.

En el estudio de Mrakic-Sposta y otros [32] propuso evaluar cómo el ejercicio y la estimulación cognitiva podrían mitigar el deterioro cognitivo y el estrés oxidativo, el cual ha sido reconocido como un factor que contribuye al avance de las enfermedades neurodegenerativas. Se basaron en un programa de realidad virtual que combina ejercicio aeróbico y entrenamiento cognitivo en un conjunto de personas con deterioro cognitivo leve (DCL) y Alzheimer (EA).

Encontraron que los ambientes virtuales pudieron entrenar la función ejecutiva, navegación, planeación, memoria y reducción de síntomas psicológicos y de comportamiento en el deterioro cognitivo leve en etapa temprana, también evidenciaron que la adopción de entrenamiento físico y cognitivo puede decrementar el estrés oxidativo que está fuertemente correlacionado con la neurodegeneración asociada a la EA, además las personas que estuvieron en la intervención reportaron sentirse mejor y sentir reducidos sus niveles de ansiedad; inclusive manifestaron continuar con el programa desde sus hogares.

De otra forma, en el estudio realizado por Zajac-Lamparska y otros [33], se pretendía evaluar los efectos de 8 sesiones de entrenamiento cognitivo basado en VR utilizando el juego GRADYS, el cual contaba con 4 módulos (atención, memoria, lenguaje y procesamiento visoespacial) en adultos mayores sanos (n= 72; de 60 a 88 años) y adultos mayores con demencia leve (n = 27; de 60 a 89 años).

Se pudo evidenciar que las personas con demencia eran incapaces de concentrarse en las tareas cognitivas usando la tecnología de VR, esto debido al aprendizaje que debían de tener para manejar los controles del hardware que eran nuevos para ellos y tendían a olvidar, además, el entrenamiento para aprender a usar la tecnología en el ambiente virtual no fue suficiente y debido a esto un porcentaje de la población salió del estudio.

Entre tanto, un estudio de Hsieh y otros [34] donde se buscaba explorar los efectos cognitivos y físicos de un programa de ejercicios de TaiChi (TC) modificado a través de Realidad Virtual en adultos mayores con deterioro cognitivo. 70 participantes en una intervención que se realizó dos veces por semana durante 6 meses. En el ambiente virtual se registró la precisión del movimiento y la asistencia. Se encontró después de la intervención dificultades para usar los controles en el ambiente virtual, también en las posturas que deben seguir los usuarios, ya que resultaban ser inapropiadas para los adultos mayores.

Encontraron también que según los resultados; Un entrenamiento de Realidad Virtual enfocado en TaiChi y movimientos aeróbicos, proveen un efecto protector en el pensamiento abstracto y el juicio, beneficios aeróbicos, resistencia en extremidades inferiores, equilibrio y velocidad de la marcha confirmando la hipótesis que el ejercicio físico en combinación con actividad mental es beneficioso para la función cognitiva.

La transformación de los métodos de atención en términos de salud al formato digital y su almacenaje en bases de datos ha permitido la evolución de múltiples procesos iniciando el camino hacia la era de la digitalización, de esta evolución han surgido interrogantes ¿En qué medida la realidad interactiva puede contribuir a la experiencia de un entorno terapéutico interior para personas con Alzheimer en centros de atención médica a largo plazo?

¿Cuáles son las características clave del sistema de integración de la tecnología de asistencia (TA) como una herramienta de asistencia en las habitaciones de los residentes en estos centros?

El análisis de las diferentes investigaciones previas presentadas en este aparte, dejan entrever la importancia de la transformación que la medicina ha generado a lo largo de los años y los usos de



la tecnología para el mejoramiento de la calidad de vida de muchos pacientes con enfermedades especiales y degenerativas.

En los trabajos hallados en la literatura, se puede afirmar que el trabajo de grado de maestría desarrollado permite interactuar con la tecnología de realidad virtual sin tener que aprender a usar los controles de la misma, que se ha reportado que los cuales a través de responder a la mecánica del juego tipo boxeo que les induce movimiento les permite aumentar su ritmo cardíaco generando en ellos una actividad aeróbica de moderada intensidad que beneficia la salud del paciente y por consiguiente, también su calidad de vida.

#### **4.2. Marco Teórico**

La enfermedad de Alzheimer (EA) es el tipo de demencia más común y representa entre el 50% y el 75% de todos los casos [35]. Los científicos cognitivos han definido la EA como una enfermedad crónica y progresiva que afecta gravemente las funciones cognitivas, incluida la memoria, el razonamiento, la capacidad lingüística, la percepción profunda y la movilidad [36]. Investigaciones realizadas por varios autores [37] proporcionaron una definición precisa de EA que brindaba una perspectiva más estrecha: precisamente, es la pérdida del conocimiento necesario sobre "cómo", que incluye cómo llevar a cabo las diversas tareas de la vida diaria y cómo interactuar adecuadamente con el entorno. Por lo tanto, es necesaria una comprensión previa de la transición entre las etapas de la enfermedad, para determinar qué tipo de tratamiento es el conveniente.

Los pacientes con demencia experimentan disfunción cognitiva y diversos síntomas conductuales y psicológicos, como nerviosismo, depresión, psicosis, gritos y violencia [38]. Debido a su pérdida

de habilidades sociales y de comunicación y limitaciones en su capacidad para realizar actividad física, los pacientes con demencia experimentan problemas en sus relaciones con los demás. Esto puede exacerbar las emociones negativas y los problemas psicológicos y de comportamiento en pacientes mayores con demencia [39]. Los síntomas conductuales y psicológicos de la demencia son una de las razones más importantes por las que las personas con demencia reciben un ingreso temprano en los centros médicos, la institucionalización temprana en un hogar de ancianos conduce a mayores costos sociales y una menor calidad de vida para los pacientes con demencia y sus familias.

Ahora de lo anterior, es bien sabido que la enfermedad del Alzheimer produce el desgaste y deterioro cognitivo de quienes la padecen, sus clasificaciones pueden ser leves y severos, el primero es considerado un síndrome. Las personas con DCL tendrán un nivel de capacidad cognitiva inferior al esperado para su edad y nivel educativo, pero no interfiere significativamente con las actividades de la vida diaria [40]. Entre tanto, un grupo de Trabajo Internacional sobre el deterioro cognitivo leve ha formulado criterios específicos, que incluyen: el individuo no es ni normal ni demente; hay evidencia de deterioro cognitivo, que se muestra ya sea por un declive medido objetivamente a lo largo del tiempo o por un informe subjetivo del declive por parte de uno mismo o de un informante junto con déficits cognitivos objetivos; y las actividades de la vida diaria se conservan y las funciones instrumentales complejas están intactas o mínimamente dañadas [41].

Dada la etiología poco clara del DCL y las diferentes partes del cerebro afectadas, los pacientes pueden sufrir una variedad de síntomas clínicos, que incluyen deterioro de la memoria y la función ejecutiva, función del lenguaje debilitada y disminución de las habilidades visuoespaciales.

Las actividades relacionadas con las funciones ejecutivas, como la multitarea y la planificación, pueden cubrir una variedad de acciones. La disfunción ejecutiva da como resultado la limitación de las actividades generales de la vida diaria. Por lo tanto, los pacientes con deterioro cognitivo leve que no pueden ejecutar actividades instrumentales pueden experimentar una pérdida temprana de participación social e independencia, lo que en consecuencia afecta su calidad de vida. [42]

De hecho, DCL es un factor de riesgo significativo para la enfermedad de Alzheimer (EA). Entre los ancianos con una capacidad cognitiva promedio, la tasa de incidencia de la EA es de alrededor del 1 % anual, mientras que entre los pacientes con DCL llega al 14 % [43]. Los estudios también informan que la prevalencia de DCL y EA seguirá aumentando. Dado que la EA es irreversible y se enfrenta a importantes dificultades de tratamiento, la clave para prevenir y tratar la EA es tomar medidas de prevención e intervención tempranas.

El objetivo del tratamiento no farmacológico es mantener o mejorar el nivel de motricidad gruesa y fina, la marcha, la autosuficiencia y las funciones cognitivas. Al mismo tiempo, otro objetivo es llenar significativamente el tiempo libre e incidir en los síntomas de la demencia y en las actividades de la vida diaria, para mejorar la comunicación verbal y no verbal entre el enfermo y su familiar o cuidador [44]. El entrenamiento cognitivo es la estimulación dirigida de las funciones cerebrales con un enfoque en múltiples habilidades cognitivas.

Se utiliza principalmente en pacientes con alzhéimer en estadio inicial y moderado que quieren entrenar sus habilidades cognitivas por sí mismos. Retarda el desarrollo de la enfermedad y mejora la calidad de vida. A veces también sirve como actividad diaria o diversión, dependiendo de cómo lo tome el paciente. Los estudios han demostrado que en algunos pacientes en las etapas moderada y grave de la enfermedad, el entrenamiento cognitivo conduce a reacciones negativas, como depresión y frustración [45].

A continuación, se muestran algunos de los tratamientos no farmacológicos que se han destacado.

**Tabla 1** *Tratamientos no farmacológicos cognitivos*

Tipo	Tratamiento / Técnica; En qué consiste?	
TRATAMIENTOS COGNITIVOS	Estimulación Cognitiva	Estimulación individualizada, adaptada a las necesidades cognitivas del paciente, para rehabilitar funciones alteradas.
	Aprendizaje sin error	Impedir a los sujetos que cometan errores durante el aprendizaje de una nueva tarea o la adquisición de una nueva información.
	Recuperación espaciada	Presentación de estímulos con un intervalo creciente, incrementando así la retención y evocación de información específica a través del tiempo.
	Imaginería visual	Solicitar al sujeto que preste atención a detalles visuales específicos de la información que debe aprender, o que genere una imagen mental del objeto que le es presentado en modalidad verbal.
	Difuminación pistas	Dar al paciente pistas para la evocación de la información. Estas pistas disminuyen sistemáticamente a medida que el sujeto va aprendiendo, hasta que desaparecen por completo.
	Ayudas externas	Sustitución de funciones cognitivas perdidas por diferentes herramientas.
INTERVENCIONES PSICOSOCIALES	Terapia de orientación a la realidad	Presentación constante de la información relacionada con la orientación en tiempo, lugar y persona.
	Terapia de validación	Aplicación de técnicas basadas en una actitud de respeto y empatía por los adultos con EA.
	Terapia de reminiscencia	Estimulación para el recuerdo de experiencias pasadas a través de fotografías, videos, canciones, ropas, periódicos, cartas o cualquier otro elemento.
	Método Montessori	Trabajo a través del análisis de tareas, la repetición guiada y la progresión paulatina de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto.

	Terapia intergeneracional	Implementación de programas en los que los pacientes con demencia enseñan a niños a realizar diferentes actividades de la vida diaria u otras habilidades.
OTRAS INTERVENCIONES	Psicomotricidad actividad física	yUtilización del ejercicio físico y otras actividades motrices guiadas para estimular vías sensoriales y motoras.
	Musicoterapia	Utilización de la música para el manejo de diferentes síntomas presentes en la EA.
	Arteterapia	Utilización de diferentes formas de arte como método de expresión en pacientes con EA.
	Modificaciones ambientales	Realización de modificaciones en el entorno del paciente con EA para disminuir el riesgo de accidentes e impacto de su déficit en las Actividades de la vida diaria.
	Dietas y cambio de hábitos alimenticios	Seguimiento de dietas de restricción calórica y disminución de grasas saturadas, para disminuir la presencia de radicales libres en el organismo.

Nota: [46]

El entrenamiento cognitivo tiene un papel especialmente importante que desempeñar en la prevención de los deterioros aquí descritos, el fortalecimiento de la autoestima, la confianza en uno mismo, la promoción de la autosuficiencia en las actividades cotidianas, la ayuda a mantener la calidad de vida, la promoción de los contactos sociales y la mejora del bienestar y el disfrute de éxito.

Por tal razón, en aras de encontrar estrategias multimodales que permitan ofrecer un manejo eficiente de la EA; Se ha buscado como tratamientos no farmacológicos el uso de tecnologías como la Realidad Virtual, la cual se abre como una herramienta innovadora y novedosa que a través de estímulos audiovisuales busca trabajar funciones cognitivas y motoras para el mejoramiento de la funcionalidad y calidad de vida de las personas con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer.

La realidad virtual, en sus siglas en inglés (VR), es una nueva tecnología informática que se creó con el desarrollo de la tecnología multimedia y se utilizó en la ciencia militar antes de aplicarse a las ciencias médicas [47]. De igual forma, es un efecto generado por computadora que puede simular una escena dada en el mundo real a través de gráficos tridimensionales (3D) y otras experiencias sensoriales (visión, tacto y sensación de movimiento). Los usuarios pueden interactuar con dichos entornos virtuales a través de dispositivos electrónicos especiales [48]. La aplicación de la realidad virtual en el manejo cognitivo de los pacientes con DCL sigue siendo un tema de investigación.

**Figura 4** *Cascos estereoscópicos de realidad virtual*



Nota: Tomado de [42]

La realidad virtual se puede dividir en 2 tipos según el grado de inmersión: realidad virtual no absorta e inmersiva (IVR). En algunos estudios realizados, su uso se interpola con la vinculación del ejercicio aeróbico de moderada intensidad, el cual se refiere a actividades que elevan la frecuencia cardíaca y la respiración a niveles que son moderadamente intensos.

De allí, que las intervenciones de Salud se utilizan cada vez más en la salud pública, siendo la realidad virtual (VR) uno de los desarrollos recientes más emocionantes, con aplicaciones que van desde simuladores de vuelo hasta usos biomédicos [49]. A diferencia de los métodos tradicionales,

la realidad virtual coloca a los usuarios dentro de una experiencia en la que, en lugar de ver una pantalla, los usuarios se sumergen y pueden interactuar con mundos tridimensionales (3D) dentro de un entorno controlado para crear un espacio digital simulado.

Además, la realidad virtual, permite a sus usuarios aumentar los beneficios del ejercicio en comparación con la práctica tradicional. En un estudio anterior, los participantes calificaron el videojuego Astro jumper de manera extremadamente positiva y experimentaron un aumento significativo en la frecuencia cardíaca después del juego. Además, los ejercicios mejorados con realidad virtual están en aumento en el mercado y en la investigación académica [50].

Es fundamental con respecto a lo anterior, que se establezca que los ambientes virtuales han sido utilizados para el aumento de la frecuencia cardíaca, como ha sido demostrado por el El VR Health Institute [51], el cual ha utilizado desde el año 2017 equipos de laboratorio de última generación para comprender mejor el impacto calórico de las experiencias de realidad virtual en el cuerpo humano. Creada por profesionales en una amplia variedad de entornos, la organización tiene como objetivo explorar los juegos y la salud desde la perspectiva de varios campos de la salud diferentes. Durante 20 años, los videojuegos han tenido una connotación negativa en la comunidad de salud y fitness. El estereotipo del jugador insalubre y antisocial que se esconde en el sótano y no tiene amigos ha sido falso durante mucho tiempo, pero aún se refuerza en Internet y prevalece en la cultura popular.

De allí, que para el 2014, el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades identificó las horas jugando videojuegos como uno de los factores de riesgo de baja actividad física en los Estados Unidos [52]. Sin embargo, el movimiento inherente en la realidad virtual y el ejercicio aumentado hacen posible que los videojuegos pronto puedan ser un contribuyente positivo a la condición física, no su enemigo. Y la popularidad de los videojuegos como uno de los pasatiempos

más sostenidos y crecientes del mundo puede convertirlos en un gran aliado para aquellos que tradicionalmente luchan por mantenerse en forma.

El VR Health Institute existe para ayudar a proporcionar datos concretos y objetivos para la discusión de los videojuegos como fuente de actividad física saludable. El VR Health Institute también tiene como objetivo ser un centro para la comunidad de VR interesada en el impacto más amplio y el papel de la realidad virtual y aumentada en un estilo de vida saludable [53].

Entre las aplicaciones que han contemplado en sus investigaciones se encuentra la de BEAT Saber, la cual fue tomada en cuenta en el presente estudio ya que es una opción viable para un entrenamiento cardiovascular pues induce el movimiento rápido de la parte superior del cuerpo del usuario para interactuar con bloques virtuales al ritmo de la música.

Otro impacto favorable de la tecnología para la salud es el IoMT (Internet de las cosas médicas). El cual el sector salud lo define como “una infraestructura conectada de dispositivos y sensores médicos, aplicaciones de software y sistemas y servicios de salud”. Estos dispositivos, aplicaciones y servicios se vinculan a plataformas en la nube que capturan y analizan grandes cantidades de datos de pacientes.

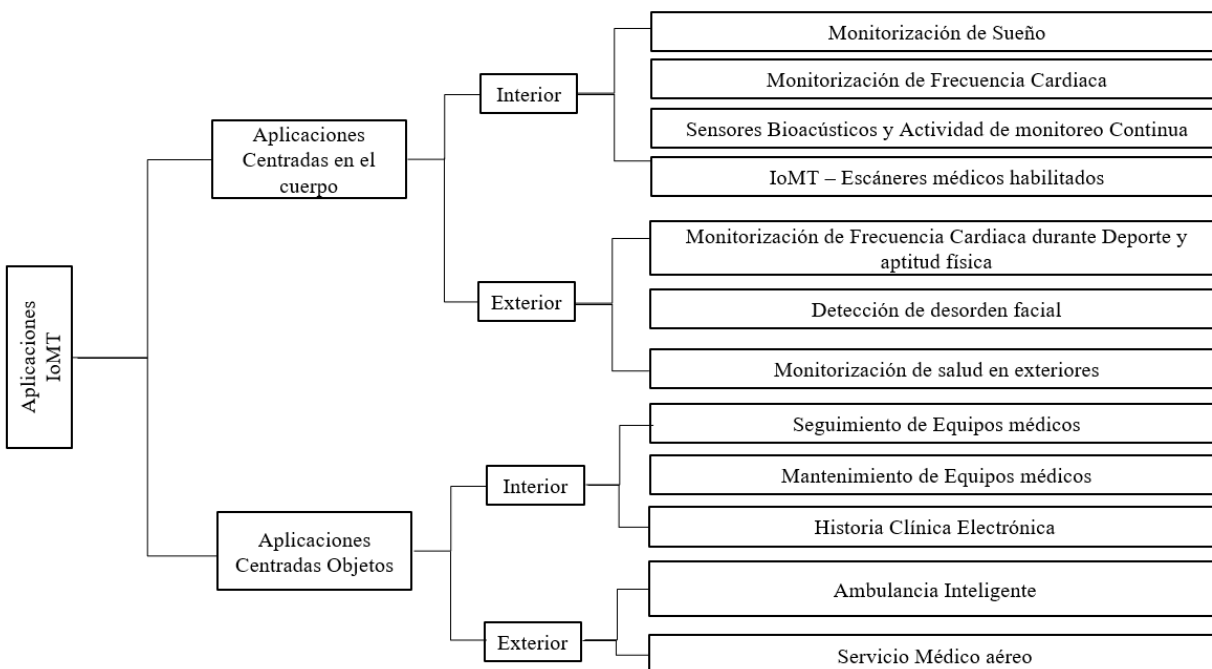
Una de las tecnologías IoMT más conocidas son los wearables, que ya se están convirtiendo en parte del día a día de muchos consumidores en forma de dispositivos de seguimiento del estado físico. Estos llegarán a desempeñar un papel mucho más importante en la vida de las personas, junto con la introducción más amplia de tecnologías de monitoreo remoto.

De allí, que son muchas las aplicaciones y casos de uso del IoMT, como, por ejemplo, sistemas de monitorización de sueño, sistemas de monitorización del ritmo cardiaco, sistemas de monitorización de actividad continua, escáneres médicos, monitores del ritmo cardiaco durante



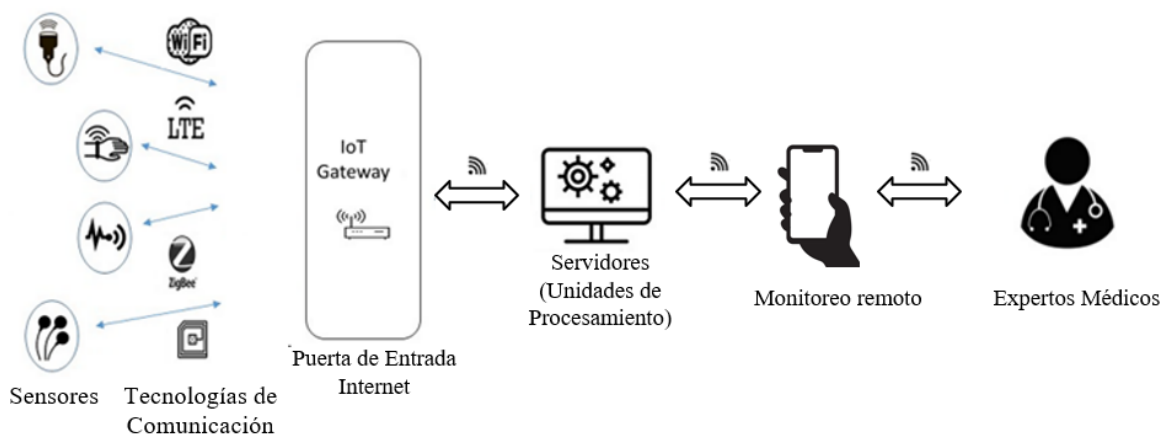
entrenamiento deportivo, detección de desórdenes faciales, ambulancias inteligentes, entre otros. Como se muestra en la figura 5 y 6.

**Figura 5** Clasificación (IOMT) y aplicaciones de uso



Nota: Adaptado por el autor de [54]

**Figura 6** Esquema de Arquitectura de Aplicación IOM

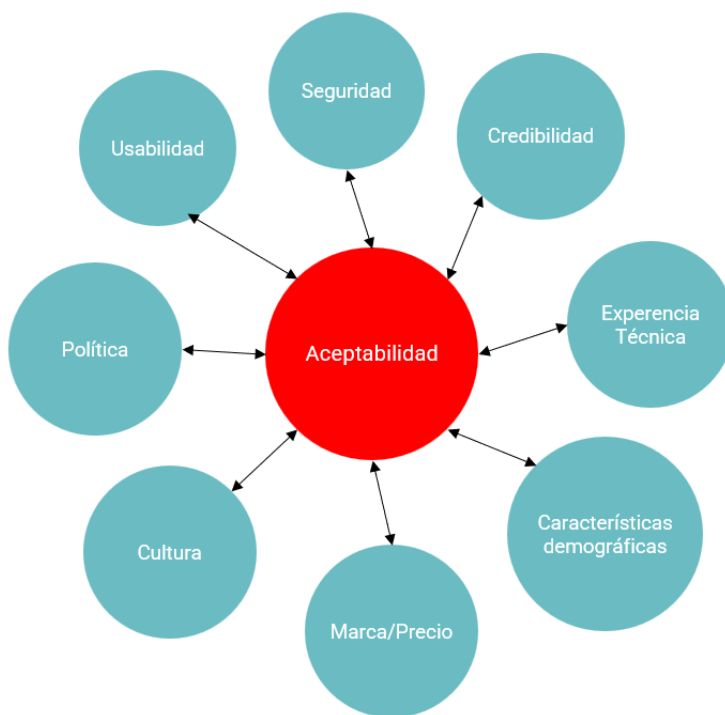


Nota; Adaptado de [55]

Todos estos sistemas tecnológicos desarrollados en función de la salud de las personas necesitan de un estudio de aceptabilidad donde se tiene en cuenta la retroalimentación del usuario final con la cual se puede determinar en gran parte si la solución tecnológica es pertinente y puede ser o no adoptada de forma generalizada.

La aceptabilidad del usuario, como se muestra en la figura 7, se entiende como la conjunción de distintos factores; Factor de utilidad (encuentro entre las necesidades del usuario y la funcionalidad), de usabilidad (Habilidad de utilizar la funcionalidad en la práctica), de simpatía (la evaluación afectiva del usuario frente a la tecnología) y de costo de la solución (Costo social y financiero sumado a las consecuencias de la adquisición de la tecnología).

**Figura 7** Factores que afectan la Aceptabilidad en el usuario

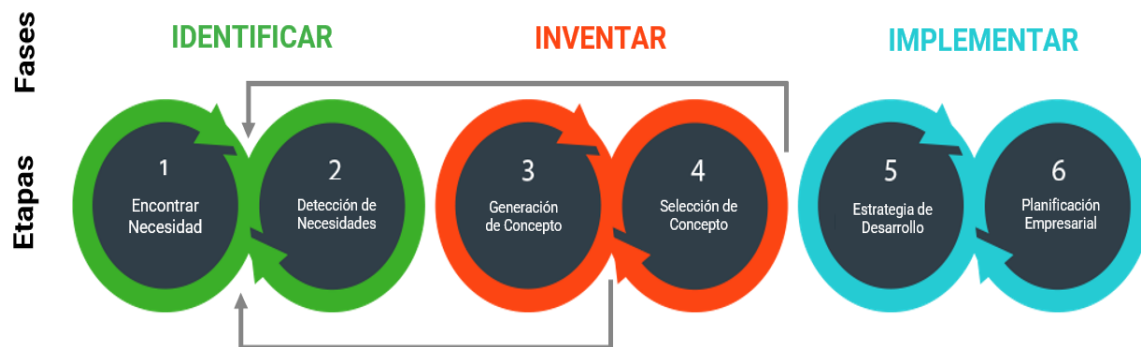


Nota: Adaptado de [56]

Las soluciones tecnológicas en medicina además de ser aceptadas por el usuario final deben ser pertinentes, es decir, que la solución tecnológica responda a la necesidad que requiere satisfacer el usuario y debe brindar garantía de que los usuarios reciban las intervenciones requeridas mediante la secuencia lógica y racional de actividades basadas en el conocimiento científico y sin interrupciones innecesarias.

Sin embargo, para la posible implementación de estas soluciones, se debe seguir una metodología apropiada de desarrollo. Como lo reporta el libro *InDesign* (Figura 8), hay una ruta de trabajo para realizar desarrollos de innovación en salud, en términos de organización, este proceso cuenta con tres distintas fases; identificar, inventar e implementar las cuales están divididas en 2 etapas para un total de 6 y que en marcan el proceso de diseño de ingeniería para la salud.

**Figura 8** *Flujo de Creación de proyectos de Bioingeniería*



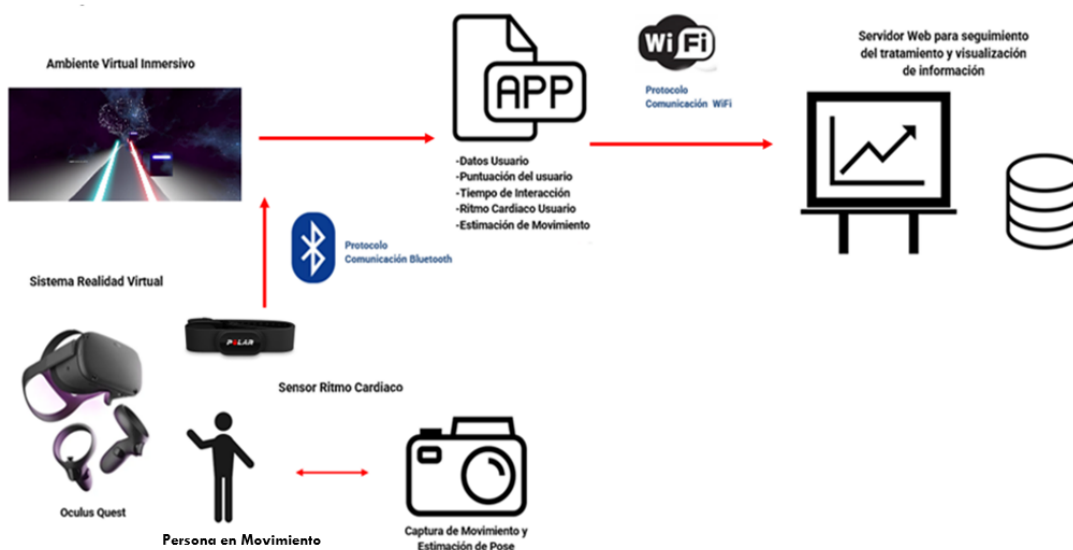
Nota. Adaptado de [57]

### 4.3. Concepto Solución del sistema tecnológico

Teniendo en cuenta la información bibliográfica recopilada se planteó el siguiente sistema tecnológico con el fin de lograr el objetivo general del proyecto de investigación. Por lo tanto, en

lo que respecta al presente estudio, el propósito además de ser una contribución al estado del arte regional, es que a través del sistema tecnológico que se va a desarrollar teniendo de referencia una ruta metodológica adecuada y centrada en el usuario, se pueda prestar un servicio de Telemedicina, donde se pueda hacer seguimiento remoto de la intervención del paciente con EA usando el sistema de VR en el cual se posibilite la transferencia de información médica de la medición de signos vitales como lo es la frecuencia cardiaca y el movimiento realizado por el paciente ante el estímulo audio – visual hecho con el ambiente virtual y la tecnología de realidad virtual.

**Figura 9** Concepto solución planteado del sistema tecnológico necesario para la intervención con pacientes y el ambiente de realidad virtual.



El sistema integrado cuenta con un ambiente virtual inmersivo de realidad virtual el cual induce a través de estímulos audio visuales el movimiento del participante que tiene puesto el casco de realidad virtual y un sensor que mide su frecuencia cardiaca el cual envía a través de bluetooth la información recopilada a una aplicación que transmite la información a una plataforma web donde reposan los datos del participante en una base de datos. Toda la interacción del usuario con el ambiente virtual es grabada para analizar el movimiento que tuvo durante la intervención.

#### **4.4. Marco legal.**

En Colombia, en mayo de 2022 se aprobó el decreto 681, el cual establece la política pública Nacional de Envejecimiento y Vejez 2022 – 2031, teniendo en cuenta que se fundamenta en el artículo 46 de la Constitución Política, donde se establece la responsabilidad del Estado para la protección y la asistencia de las personas mayores y promover la integración de la vida. [58]

De igual forma, la resolución número 1035 de 2022, Plan Decenal de Salud Pública 2022-2031, se fundamenta en la protección del Estado a la población, se proyectan metas para atender la población con Alzheimer y demencia degenerativa [59].

La presente investigación la cual se articula al proyecto de doctorado titulada: “Desarrollo de una intervención multimodal con énfasis en la anosognosia para el tratamiento de la enfermedad de Alzheimer, a través de tecnologías de información y comunicación, TIC”. En la cual, Tanto el protocolo del estudio como el formato de recolección de datos y de consentimiento informado, cuentan con la aprobación del Comité De Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia. Acta de aprobación No. 027, del 31 de marzo de 2022.

## **5. Metodología**

### **5.1. Tipo de investigación.**

La propuesta de intervención consta de un diseño metodológico enfocado en la promoción primaria con el fin inducir el movimiento y el aumento de la frecuencia cardiaca en la población adulta mayor con Alzheimer, a través de la incorporación de una actividad con un ambiente virtual inmersivo y la tecnología de realidad virtual. La selección de la muestra poblacional pertenece a pacientes del GNA (Grupo de Neurociencias de Antioquia) del proyecto API Colombia (Alzheimer's Prevention Initiative).

### **5.2. Enfoque**

El enfoque de la investigación fue de carácter mixto, pues conjuga interpretación cuantitativa y cualitativa de las actividades desarrolladas y las pruebas aplicadas.

### **5.3. Población**

Para la intervención del presente estudio se precisaron 15 pacientes ubicados en la región de Antioquia, principalmente de la ciudad de Medellín y Yarumal los cuales participaron en el proceso de estimulación audio visual usando la tecnología de realidad y el ambiente virtual inmersivo desarrollado que tuvo dos versiones, 3 participantes para la interacción con la primera versión piloto y 12 participantes para la intervención con el ambiente virtual mejorado.

Para la selección de los participantes se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de selección.

#### 5.3.1. Criterios de Selección

- Hombres y mujeres mayores de 40 años con Enfermedad de Alzheimer.
- Personas con la posibilidad de caminar 10 m sin la necesidad de ayudas.
- Tener la habilidad de realizar actividades de la vida diaria (ADLs).

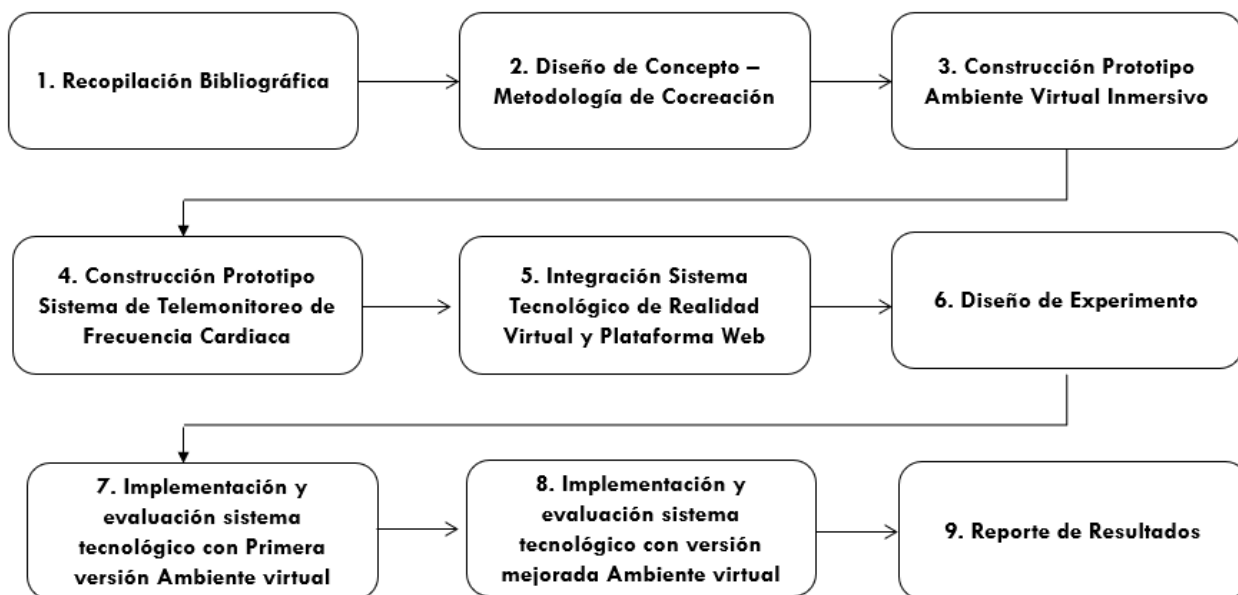
#### 5.3.2. Criterios de Exclusión Personas con Demencia.

- Presencia de inestabilidad neurológica u ortopédica que impidiera la participación en el estudio.
- Nivel de Educación menor a 6 años.
- Daño cognitivo o funcional que impidiera al paciente participar en el estudio.
- Patologías Cardiovasculares.
- Dolor en la parte trasera de las extremidades.
- Neuropatía periférica.
- Enfermedades reumáticas y ortopédicas.
- Incapacidad para dar un consentimiento informado.
- Nivel de estudio por rango de edad

#### 5.4. Técnicas de recopilación de la información

Para la recopilación de la información se tuvo en cuenta un formato validado de entrevista asociado a otro macroproyecto, teniendo presente que este estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Bioética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Antioquia.

**Figura 10** *Flujo metodológico*



**Construcción sistema Telemonitoreo de Frecuencia cardiaca:** Se diseña e implementa el sistema de monitoreo digital usando los recursos tecnológicos como página web, servidor web, base de datos y adquisición de información (Frecuencia cardiaca y Movimiento). Se programa el front end y el Back end de la página web de seguimiento del paciente con el uso de la tecnología del ambiente virtual.

**Integración del Sistema tecnológico:** Se integra el desarrollo digital de la plataforma web con el ambiente virtual inmersivo mejorado, el dispositivo de adquisición de frecuencia cardiaca y el sistema de análisis del movimiento del paciente.



**Diseño del Experimento:** Se diseña el experimento el cual consiste en evaluar una primera versión del ambiente virtual en un conjunto de 3 pacientes, realizar encuestas para evaluar su experiencia de usuario con el uso de la tecnología y teniendo en cuenta estos resultados, proceder realizar las mejoras en el ambiente virtual desarrollado, corrección de bugs y puesta a punto para evaluar a 12 distintos pacientes, durante una sesión con duración de 13 minutos la diferencia existente de su frecuencia cardiaca y cantidad de movimiento entre los tres niveles de intensidad que presenta el ambiente virtual mejorado.

**Implementación y evaluación del sistema tecnológico primera versión:** Se realiza el despliegue del ambiente virtual piloto y del sistema tecnológico desarrollado con sus tres niveles de intensidad en un conjunto de 3 pacientes con el objetivo de determinar oportunidades de mejora del ambiente virtual desarrollado tomando como base una encuesta que determine el nivel de agrado obtenido durante la intervención y la experiencia de usuario con la tecnología.

**Implementación y evaluación del sistema tecnológico versión mejorada:** Se realizan las correcciones y mejoras al primer ambiente virtual desarrollado, y se hace la implementación de este junto con el sistema tecnológico en un conjunto de 12 participantes en una intervención que dura 13 minutos. Se evalúa la aceptabilidad a través de una encuesta sobre el uso y la experiencia de usuario con la tecnología y se evalúa la pertinencia del sistema tecnológico implementado a través de analizar la relación entre los tres niveles de ejercicio realizado con el ambiente virtual, el aumento de la frecuencia cardiaca y la cantidad de movimiento.

**Reporte de Resultados:** Se realizan pruebas estadísticas para el análisis de la información adquirida para la frecuencia cardíaca y el movimiento. En los cuales se contempla una Anova para muestras emparejadas, pruebas T para dos muestras emparejadas correspondientes y pruebas no paramétrica de Wilcoxon para dos muestras emparejadas.

## 5.5. Materiales

Para el desarrollo del sistema tecnológico del concepto solución tecnológica planteado se tuvo en cuenta las siguientes herramientas de Software y Hardware. Los criterios de selección fueron: la calidad, el costo, los conocimientos previos y experiencia utilizando las herramientas y la compatibilidad entre las tecnologías.

**Tabla 2** *Herramientas de software concepto solución del sistema tecnológico*

Especificaciones	Alternativa seleccionada	Descripción
Editor de Modelos 3D	<b>Blender</b>	<b>Blender</b> es un programa informático multiplataforma, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, la animación y creación de gráficos tridimensionales. También de composición digital utilizando la técnica procesal de nodos, edición de vídeo, escultura y pintura digital
Editor de imágenes	<b>Photoshop Illustrator</b>	<b>Photoshop</b> es un programa específico para retoques fotográficos. <b>Illustrator</b> es perfecto para imágenes artificiales que necesitan acabados muy detallados.
Motor gráfico 3D	<b>Unity versión 2020.3.5f1</b>	Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies en el cual se pueden desarrollar ambientes virtuales 2D y 3D para múltiples propósitos como lo es el entretenimiento, la educación, entre otros.
Software de Integración con cascos de Realidad Virtual Oculus Quest	<b>Oculus Integration versión 33.0</b>	Paquete de software que permite la integración del ambiente virtual creado en Unity con la tecnología de Realidad Virtual Meta Quest 1 y 2.
Software de programación de Microcontrolador	<b>Arduino IDE</b>	Entorno de desarrollo integrado escrito en el lenguaje de programación Java, utilizado para escribir y cargar programas en placas compatibles con Arduino (Microcontroladores)
Algoritmos de detección de Pose	<b>MediaPipe</b>	Software que permite a través de un algoritmo determinar la cantidad de movimiento que tuvo un individuo a través de un video
Tecnologías Front End	<b>HTML5 CSS JavaScript</b>	Tecnologías con las que se desarrollan la mayoría de las páginas y aplicaciones web actualmente, no tienen ningún costo y permite la integración a otras tecnologías.
Tecnología Backend	<b>Python</b>	Es un lenguaje interpretado orientado a objetos. Cuenta con una amplia compatibilidad en diferentes sistemas operativos como Mac Os, Windows y Linux.
	<b>PHP</b>	Es un lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML.
Base de datos	<b>MySQL</b>	MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional desarrollado bajo licencia dual: Licencia pública general/Licencia comercial por Oracle Corporation y está considerada como la base de datos de código abierto más popular del mundo y una de las más populares en general junto a Oracle y Microsoft SQL Server, todo para entornos de desarrollo web.
Ambiente Virtual Inmersivo	<b>Juego de Realidad Virtual desarrollado Remember VR.</b>	Entorno digital de entretenimiento que permite al usuario a través de la música y el movimiento, enfocar su concentración, trabajar su memoria de trabajo y su función motora.
Programación Ambiente Virtual	<b>C#</b>	Es un lenguaje de programación desarrollado por Microsoft como parte del marco .NET para crear aplicaciones web y de escritorio para Windows. Es un lenguaje moderno, orientado a objetos. Se utiliza ampliamente para desarrollar aplicaciones de escritorio de Windows, juegos, aplicaciones para móviles y servicios web.

Tabla 3 Herramienta de hardware

<b>Herramientas de Hardware</b>		
<b>Especificaciones</b>	<b>Alternativa seleccionada</b>	<b>Descripción</b>
<b>Unidad de procesamiento y control central</b>	<b>Arduino Nano</b>	El Arduino Nano es una placa pequeña, completa y compatible con protoboard basada en la ATmega328P. Ofrece la misma conectividad y especificaciones de la placa Arduino Uno en un factor de forma más pequeño. Dispositivo encargado de recibir la información de la frecuencia cardíaca y enviarla a la unidad de procesamiento y control central del sistema tecnológico.
<b>Adquisición de señales del movimiento del paciente</b>	<b>Celular SmartPhone</b>	Dispositivo celular con sistema operativo Android 6.0 o mayor, el cual contará con un aplicativo que adquiere la frecuencia cardíaca del paciente y lo envía al servidor donde reposa la información.
<b>Adquisición Frecuencia Cardíaca del paciente</b>	<b>Grove Sensor</b>	Dispositivo que permite adquirir la señal de frecuencia cardíaca el cual garantiza una buena precisión y el cual puede comunicarse con el microcontrolador Arduino y con el cual se puede transmitir la información de forma inalámbrica (Bluetooth) con el controlador central que procesa la información del sistema tecnológico.
	<b>Sensor Polar H10</b>	El Polar H10 es un sensor de frecuencia cardíaca que se lleva alrededor del pecho durante el ejercicio para controlar y registrar los datos de frecuencia cardíaca. Es compatible con una amplia gama de dispositivos y aplicaciones deportivas, y puede utilizarse para actividades como el running, el ciclismo y el entrenamiento de fuerza. El sensor utiliza tecnología de electrocardiograma (ECG) para medir con precisión la frecuencia cardíaca y proporciona datos de frecuencia cardíaca en tiempo real al usuario. También tiene una batería de larga duración.
<b>Comunicación Bluetooth</b>	<b>Módulo Bluetooth HC-06</b>	Módulo Bluetooth que puede lograr fácilmente una transmisión de datos inalámbrica en serie. Su frecuencia de funcionamiento se encuentra entre las bandas de frecuencia ISM de 2,4 GHz más populares (es decir, industrial, científica y médica). Adopta el estándar Bluetooth 2.0 + EDR. En Bluetooth 2.0, el tiempo de transmisión de la señal de diferentes dispositivos se sitúa en un intervalo de 0,5 segundos, de modo que la carga de trabajo del chip bluetooth se puede reducir sustancialmente y se puede ahorrar más tiempo de reposo para bluetooth.
<b>Alimentación dispositiva de adquisición de señal cardíaca</b>	<b>2 batería Lipo 3.7v 3000mAh</b>	La batería de polímero de iones de litio, Son pilas recargables (células de secundaria), compuestas generalmente de varias células secundarias idénticas en paralelo para aumentar la capacidad de la corriente de descarga, y están a menudo disponibles en serie de "packs" para aumentar el voltaje total disponible.
<b>Cascos de Realidad Virtual</b>	<b>Meta Quest 1</b>	Oculus Quest es un visor de realidad virtual desarrollado por Oculus. Es un dispositivo independiente que puede ejecutar juegos y software de forma inalámbrica bajo un sistema operativo basado en Android.

- **Método de Intervención con Pacientes**

Como referencia se tuvo en cuenta, los estudios reportados en las intervenciones que usan Realidad virtual en población con enfermedad de Alzheimer, los cuales se contó con la participación de 12 personas con EA, los cuales estuvieron presentes en una intervención de 12 minutos a 15 minutos usando el ambiente virtual desarrollado con sus tres niveles de intensidad. Se realizó la adquisición de información fisiológica del participante y la retroalimentación concerniente a su experiencia de usuario con la tecnología desarrollada y con ello obtener los insumos necesarios para evaluar la aceptabilidad y pertinencia del sistema tecnológico implementado.

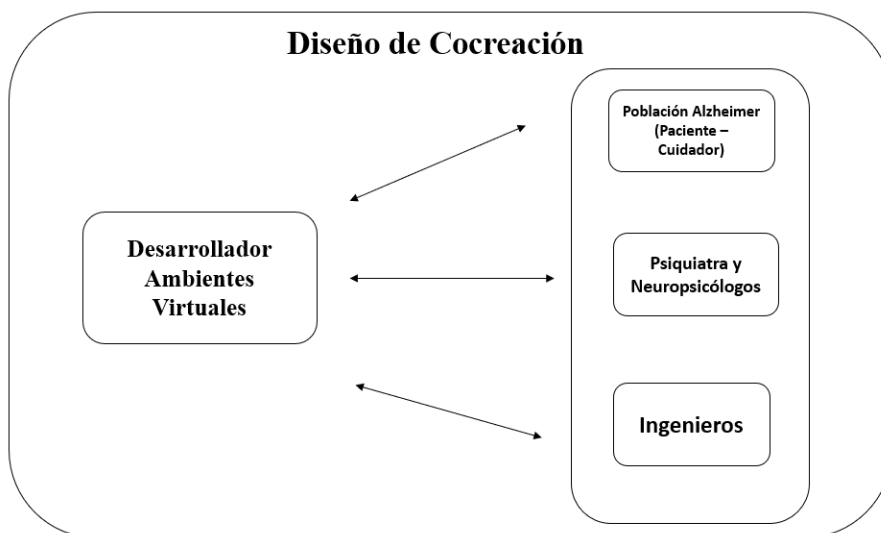
## 6. Resultados

Para el desarrollo de la investigación se da cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos para este fin, logrando sintetizar cada uno de los pasos que dieron lugar al planteamiento aquí expresado.

### 6.1. Implementar una metodología de CoCreación para el desarrollo de un ambiente virtual para la rehabilitación de personas con EA en estadio leve usando realidad virtual, la cual incluya el conocimiento de médicos, pacientes y cuidadores.

Para el desarrollo eficiente de la implementación de la metodología de cocreación, se efectuaron reuniones periódicas con la psiquiatra experta líder en la investigación con población Alzheimer en condición de Anosognosia, Neuropsicólogos del grupo de investigación del grupo Neuropsicología y conducta y también con Ingenieros como se muestra en la figura 11.

**Figura 11** Actores involucrados en el diseño de Cocreación del ambiente virtual inmersivo



Con el grupo de expertos, se establecieron los requerimientos funcionales y no funcionales con los cuales el ambiente virtual inmersivo debía cumplir como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4** *Requerimientos funcionales y no funcionales ambiente virtual*

Requerimiento	Tipo de Requerimiento
El ambiente virtual inmersivo debe ser intuitivo y de fácil interacción por parte de la población con EA.	Funcional
El ambiente virtual inmersivo debe permitir que el usuario se mueva y pueda aumentar su ritmo cardiaco.	Funcional
El ambiente virtual inmersivo debe contar con tres niveles de intensidad para evaluar la pertinencia de este.	Funcional
El ambiente virtual debe contar con música que permita que el participante se divierta con la herramienta tecnológica.	Funcional
El ambiente virtual debe procurar que el usuario tenga que ingresar comandos a través de los controles del hardware	Funcional
El ambiente virtual debe hacer uso de colores con un alto contraste para la fácil identificación de los elementos dentro del ambiente virtual.	Funcional
El ambiente virtual desarrollado debe comunicarse con una plataforma web externa que permita la monitorización de las variables capturadas por el participante.	Funcional

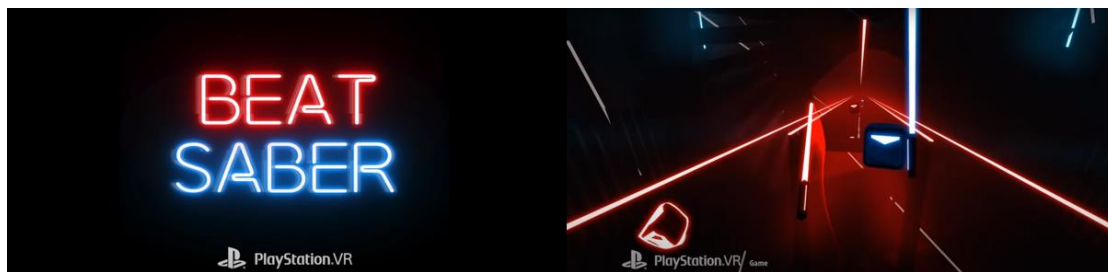
### 6.1.1. Ambientes Virtuales de Referencia

En la búsqueda de ambientes virtuales inmersivos que indujeran movimiento en los usuarios, se encontró un centro de investigación llamado el Virtual Reality Institute of Health and Exercise el cual se enfoca en estudiar a través de equipos de vanguardia, comprender el impacto calórico de las experiencias de realidad virtual en el cuerpo humano [60]. El centro de investigación pretende explorar los juegos y la salud desde la perspectiva de varios campos sanitarios diferentes cambiando el paradigma de los videojuegos, los cuales han tenido una connotación negativa en la comunidad de la salud y la forma física.

El VR Health Institute existe para ayudar a aportar datos concretos y objetivos sobre los videojuegos como fuente de actividad física saludable. Entre los ambientes virtuales que analizaron, estuvieron presentes los siguientes:

#### 6.1.1.1 Beat Saber VR

**Figura 12** Juego Beat Saber VR



Beat Saber es un juego de ritmo de realidad virtual único en el que tu objetivo es reducir los ritmos (representados por pequeños cubos) a medida que se acercan a ti. Cada latido indica qué sable necesitas usar y también la dirección que necesitas hacer coincidir. Toda la música está compuesta



para adaptarse perfectamente a los niveles hechos a mano. El Objetivo es hacer que los jugadores bailen mientras cortan los cubos y evitan obstáculos. Cada corte está fuertemente respaldado por excelentes efectos de sonido y visuales para enfatizar la concentración.

El VR health Institute [51] publicó datos de la frecuencia cardiaca del evaluador del ambiente virtual ante las sesiones realizadas con el juego. Las puntuaciones de Beat Saber permitieron clasificar este juego como un ejercicio equivalente a realizar tenis en donde se quemaría entre 6 a 8 calorías por minuto como se muestra en la figura 13. Se puede observar también como en una sesión de 52 minutos, el usuario pudo obtener un promedio de frecuencia cardiaca de 124 bpm, una frecuencia cardiaca máxima de 146 bpm y una quema de 506 calorías.

**Figura 13** Pruebas beat saber.



### 6.1.1.2 X-Booster

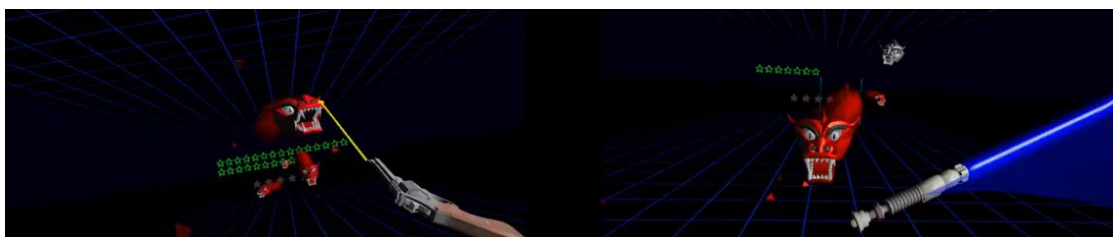
**Figura 14** Juego X-Booster VR



X-Booster es un juego de ritmo en el cual el usuario puede golpear, cortar y esquivar objetos con el fin de adelgazar. El usuario debe contar con precisión, sincronización, velocidad y fuerza con las cuales amplía la puntuación y mejorar las estadísticas de los participantes.

### 6.1.1.3. Dragon Dance VR

**Figura 15** Juego Dragon Dance VR



Dragon Dance VR es un juego de desplazamiento de realidad virtual de estilo retro de ritmo rápido en el que cortas y disparas a los enemigos y superas los desafíos físicos y de sincronización en el camino donde el usuario puede sentir un flujo acelerado mientras elimina los objetos del ambiente virtual.

#### 6.1.1.4. Boxing

**Figura 16** Juego Box VR



El juego BOX VR, es un ambiente virtual inmersivo e interactivo que requiere que el jugador realice movimientos de golpes con los brazos para cumplir con el objetivo de cada nivel. Después de la evaluación realizada del juego. Se clasificó este como un equivalente a realizar a una actividad de tenis en la que se puede quemar entre 6 y 8 calorías por minuto. Además, en la sesión realizada por el evaluador, se obtuvo en una sesión de 34 minutos una frecuencia cardiaca promedio de 150 bpm y una frecuencia cardiaca máxima de 172 bpm.

**Figura 17** Pruebas Box VR.



Como se puede observar dependiendo de la mecánica de interacción con en el juego del ambiente virtual, se pueden obtener un mejor resultado en cuanto al aumento de frecuencia cardiaca ante la interacción con el ambiente virtual.

#### 6.1.2. Concepto del Ambiente Virtual de Remember VR

Teniendo en cuenta las referencias comerciales. El ambiente virtual desarrollado se enfocó en el uso de la tecnología inmersiva de realidad virtual usando los cascos estereoscópicos de Meta Quest y con ello lograr que los participantes de la investigación a través de la interacción con el ambiente virtual inmersivo desarrollado lograsen el aumento de su frecuencia cardiaca en respuesta ante el estímulo audiovisual percibido que induce en ellos su movimiento.

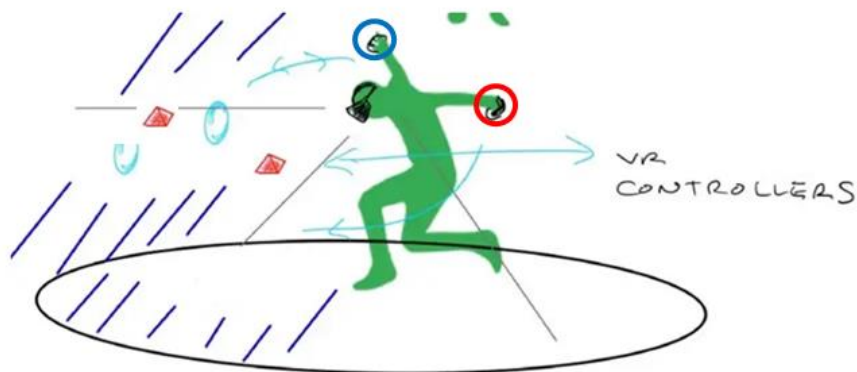
#### 6.1.3. Objetivo de Remember VR

Teniendo en cuenta los requerimientos funcionales del ambiente virtual, se planteó que el objetivo del ambiente virtual Remember VR fuera permitir al usuario a través de la música y el movimiento, enfocar la concentración y a través de una tarea motora poder aumentar el ritmo cardiaco pues como se ha reportado en el presente documento esto implica grandes beneficios para la salud sobre todo en lo que corresponde a esta población.

La principal tarea que el participante de Remember VR debe realizar es destruir los bloques de color rojo y azul que se acercan al participante al ritmo de la música presente en tres distintos niveles de dificultad. El participante cuenta con dos actuadores uno en cada mano, de color azul y

de color rojo con los cuales debe acertar correctamente a los cubos que se acercan con el mismo color como se muestra en la figura 18.

**Figura 18** *Bosquejo de interacción del usuario con el ambiente virtual inmersivo*



De igual forma, el ambiente virtual también busca generar un hábito saludable ya que a través de la dinámica que le permite al usuario realizar una actividad física, pues se pretende que, ante la experiencia con la tecnología, el usuario pueda aumentar su ritmo cardiaco y con ello tener una herramienta digital la cual pueda impactar en su bienestar.

#### 6.1.4. Características principales

Teniendo en cuenta los requerimientos dados por la psiquiatra Claudia Patricia Ramos y las neuropsicólogas del grupo de investigación con relación a los pacientes y sus necesidades, se plantearon las siguientes características con las cuales debía contar el ambiente virtual:

- **Planteamiento sencillo:** la dinámica del ambiente virtual debe ser simple pero suficientemente clara para que el usuario sepa el objetivo que debe realizar.

- **Táctica:** Los elementos con los cuales el usuario deba interactuar deben ser intuitivos, fáciles de identificar y con un comportamiento constante.
- **Dinamismo:** El ambiente virtual debe procurar que el usuario final esté concentrado durante toda la interacción y esta le permita cumplir con el objetivo de que aumente su frecuencia cardíaca y movimiento.

#### 6.1.5. Género

**Remember VR** articula la unión de varios géneros. Los cuales se identifican los siguientes:

- **Videojuego musical:**

Son Juegos de música que inducen a la interacción del usuario usando el ritmo de las canciones y cuyo objetivo es que el jugador pueda seguir los patrones que se generan por la música que escucha.

- **Acción en primera persona:**

Son Juegos dinámicos y directos en el que el Jugador experimenta una descarga de adrenalina y cuyo objetivo principal es destruir objetos u oponentes que se sitúan en frente de la escena de juego.

#### 6.1.6. Propósito y público objetivo

El principal propósito de Remember VR fue ofrecer a los usuarios una experiencia entretenida y divertida, con una práctica jugabilidad en donde lo que se priorizó fue la mecánica usada por el usuario para generar un aumento sustancial del movimiento y por consiguiente un aumento en su frecuencia cardíaca.

El público para el que estuvo dirigido Remember VR es una población adulta, con funciones ejecutivas y cognitivas orientadas a la preservación de la capacidad de ver y escuchar, así como el poder reaccionar ante los estímulos audiovisuales que estaba observando.

### 6.1.7. Jugabilidad

Remember VR ofrece tres niveles de dificultad donde cada nivel es un escenario lineal, donde el usuario final puede destruir bloques cúbicos al ritmo de la música la cual se intensifica en cada nivel de juego.

Para lograr esto cada escena virtual se vale de los siguientes elementos:

**Rampa:** Cada nivel cuenta con una rampa horizontal que funciona como el suelo del escenario y como referencia para el usuario que interactúa con el ambiente virtual.

**Cubos Rojos Y Azules:** Cada nivel cuenta con dos objetos que siempre se mueven al ritmo de la música y son de color rojo y de color azul.

**Actuadores:** El usuario final cuenta con la posibilidad de hacerle frente y destruir los cubos rojos y los cubos azules.

**Fecha:** En cada nivel, cada escena muestra la fecha y la hora en la que el usuario final está interactuando en el ambiente virtual.

**Interfaz de Cubos rojos y Azules:** Cada escena de todos los niveles muestra la cantidad de cubos rojos y de cubos azules acertados correctamente durante la intervención.

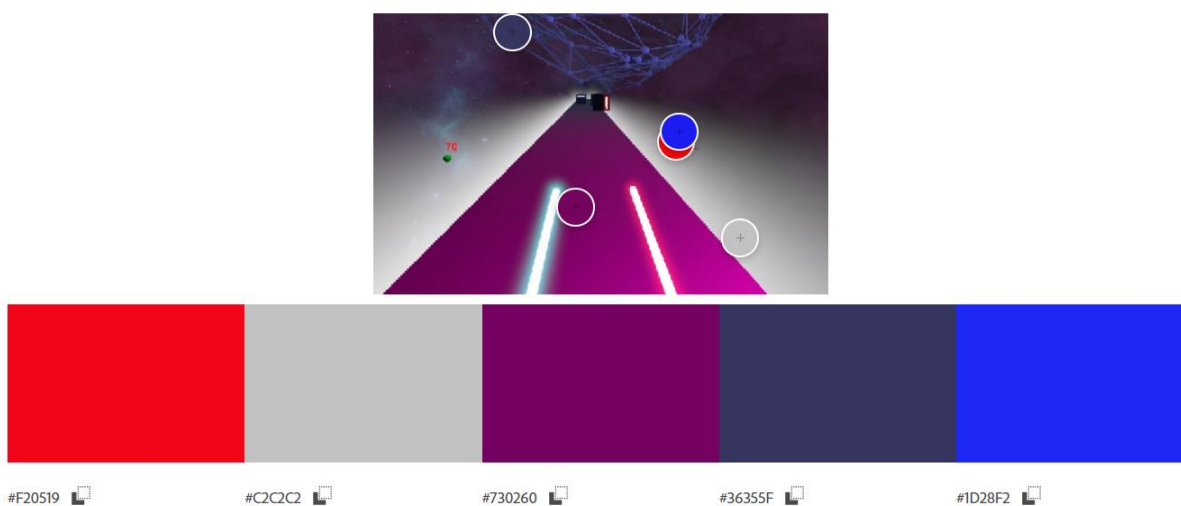
### 6.1.8. Estilo Visual primera versión del Ambiente virtual

El estilo visual de la primera versión de Remember VR, como lo precisan los requerimientos funcionales del ambiente virtual a desarrollar, pretendía ser un espacio digital intuitivo y amigable con el usuario final. Basado en una temática espacial para lograr una inmersión que sorprendiera

al usuario y lo enganchase a querer permanecer haciendo uso de la tecnología e interactuando con la experiencia del juego.

Los colores de este ambiente virtual buscaban tener un alto contraste para que el usuario se le hiciera más fácil su identificación y pudiera identificar con claridad los objetos que se deben eliminar para poder así garantizar el objetivo de su movimiento y el aumento de su frecuencia cardiaca. También cuenta con colores neutros para que pueda tener tranquilidad mientras se encuentra inmerso en el espacio virtual.

**Figura 19** Paleta de colores primera versión del Ambiente virtual



#### 6.1.9. Alcance primera versión Ambiente virtual

El Alcance de Remember VR, como lo precisan los requerimientos funcionales del ambiente virtual a desarrollar, buscaba a través de su sistema de juego contar con tres niveles de intensidad, cada uno con una duración equivalente al tiempo de la canción de cada nivel para tener un espacio de interacción de un total de 12:31 segundos.

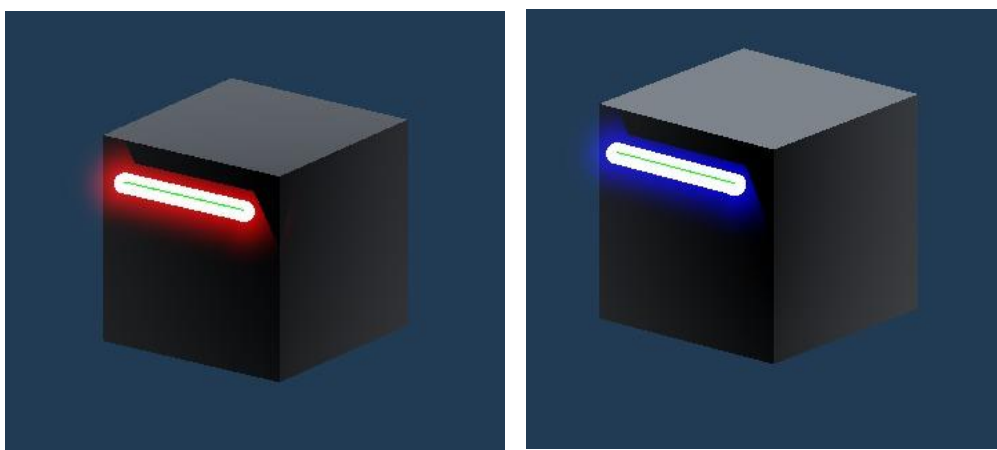


**Tabla 5** *Música, duración y ritmo por cada nivel de la primera versión del ambiente virtual*

<b>Nivel</b>	<b>Canción</b>	<b>BPM</b>	<b>Duración</b>
<b>1</b>	TheFatRat - Unity	105	04:09
<b>3</b>	Mambo No. 5 (A Little Bit Of...)	174	03:41
<b>2</b>	Rudimental - Waiting All Night (ft. Ella Eyre)	175	04:41

#### 6.1.10. Objetos de la primera versión del Ambiente Virtual

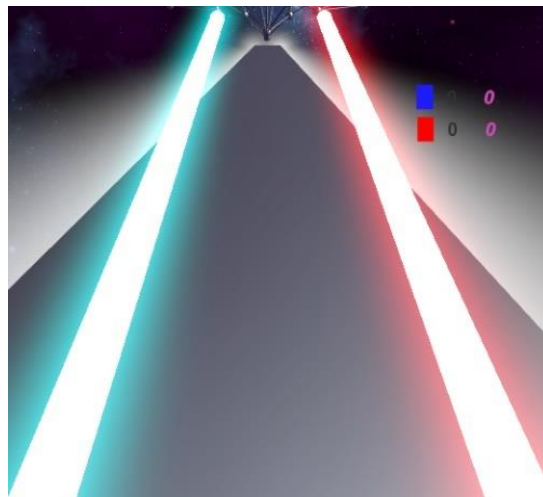
Los objetos que debe destruir el participante dentro de cada nivel de la primera versión del ambiente virtuales son como se muestran en la figura 20, los cuales, se diferencian uno del otro a través de los indicadores de luz horizontal de color rojo y azul.

**Figura 20** *Objetos a destruir en la primera versión del ambiente virtual Remember VR*

### 6.1.11. Actuadores del Ambiente virtual primera versión del ambiente virtual

El usuario de Remember VR cuenta con dos actuadores con los cuales debe destruir los cubos de franja roja y azul que se le presentan constantemente durante cada nivel de la intervención. En la primera versión del ambiente virtual, los actuadores son sables como se muestra en la figura 21.

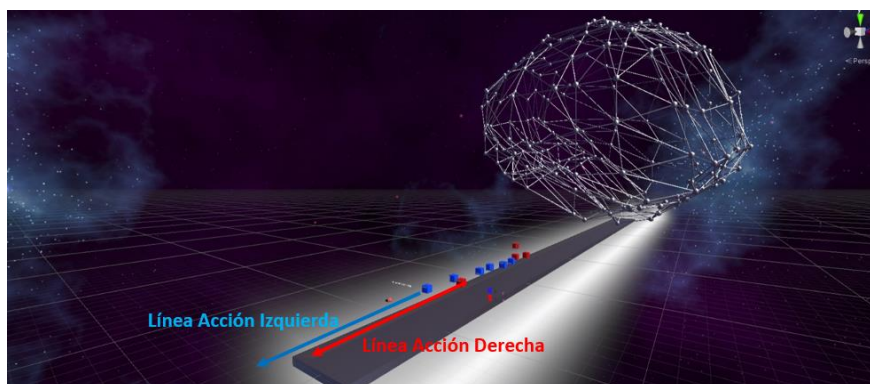
**Figura 21** Actuadores primera versión del ambiente virtual



### 6.1.12. Movimiento y físicas

Los cubos que se le presentan al participante en cada nivel siguen un comportamiento aleatorio, pero se instancian siempre en la dos mismas líneas de acción como se muestra en la figura 22, lo cual permite que el usuario pueda entender de forma intuitiva y rápida la ubicación espacial de los mismos para poder eliminarlos adecuadamente.

**Figura 22** *Objetos a destruir en el ambiente virtual Remember VR*



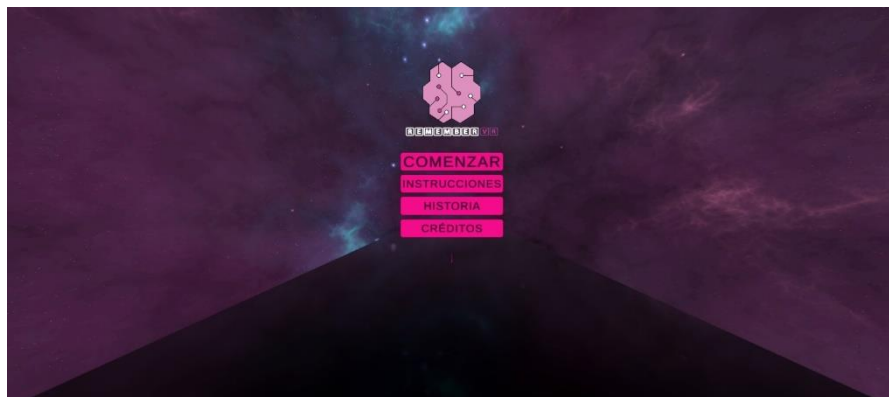
### 6.1.13. Interfaces

El ambiente virtual cuenta con las siguientes interfaces.

#### **Menú**

El menú del ambiente virtual que se muestra en la figura 23, permitió antes de que el participante haga la interacción con el ambiente virtual, que la persona responsable de supervisar la intervención con el paciente pueda enseñarle un video explicativo sobre las instrucciones de la actividad que debe realizar dentro del ambiente virtual. Además de esto, también puede visualizar en la sección de historia un video didáctico y pedagógico sobre la enfermedad de Alzheimer, una sección de créditos y un botón que lo dirige a la sección de identificación de usuario.

**Figura 23** Menú principal del ambiente virtual Remember VR



#### 6.1.13.1 Identificación Usuario

La interfaz de identificación como se muestra en la figura 24, permite al responsable de supervisar la intervención del participante con el ambiente virtual de ingresar su cédula para asociar los resultados que tenga en cada uno de los niveles a ese número específico.

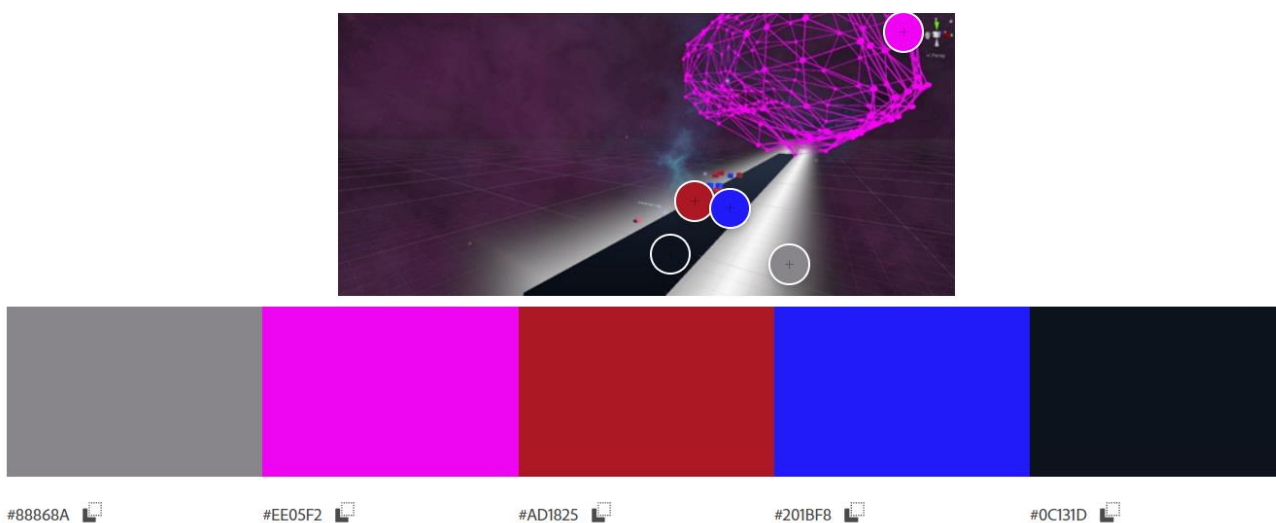
**Figura 24** Identificación de usuario del ambiente virtual Remember VR



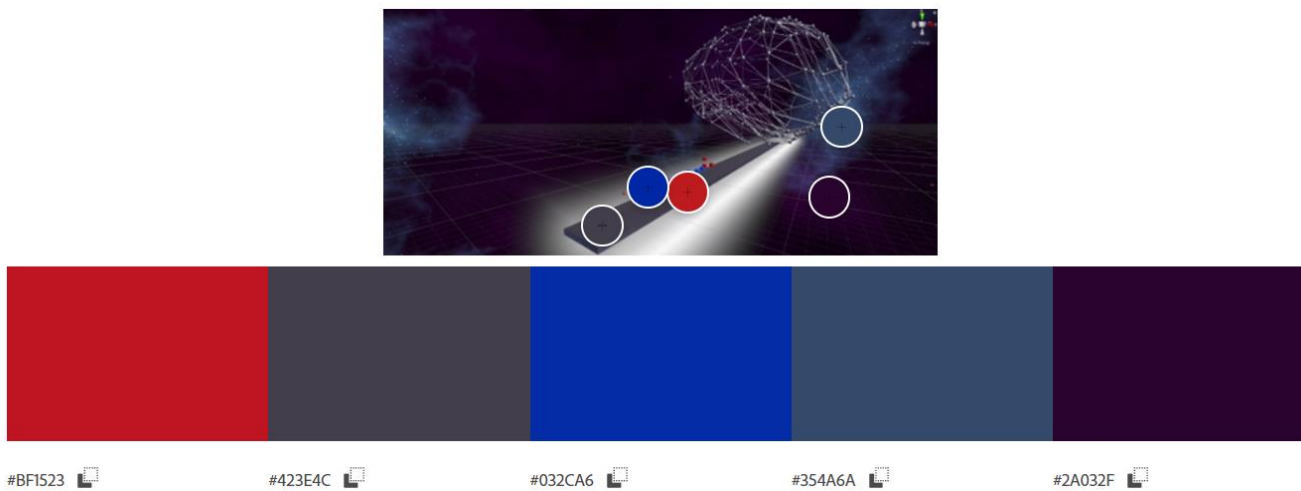
### 6.1.14. Arte 3D

Remember VR cuenta con tres escenarios cada uno correspondiente a un nivel en específico, la composición de la escena de cada nivel cambia como se muestra en las siguientes figuras. 25, figura 26, figura 27.

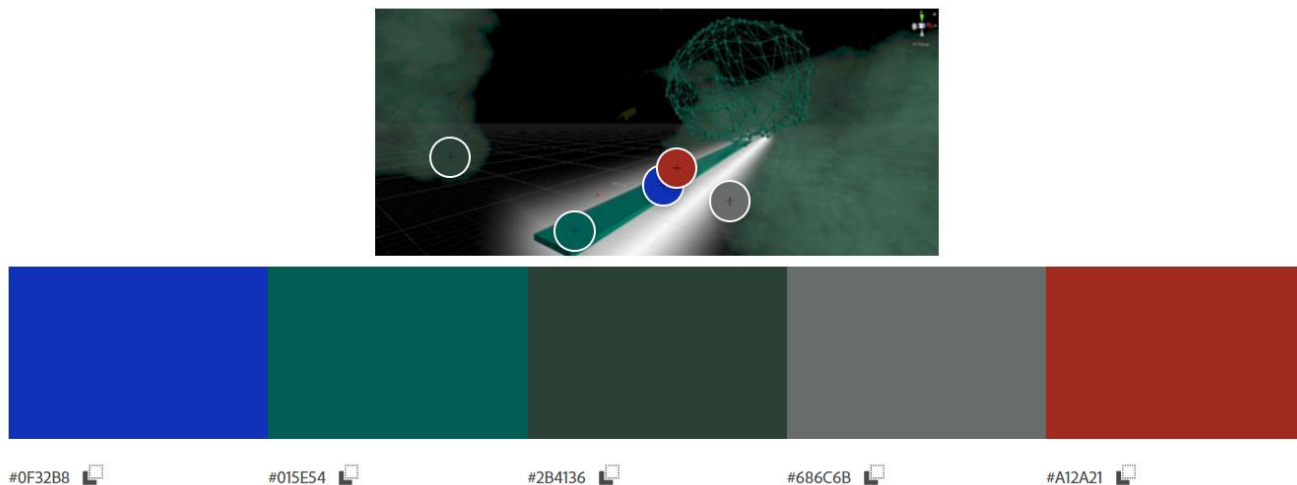
**Figura 25** *Escenario del Nivel 1 en Remember VR*



**Figura 26** *Escenario Del Nivel 2 En Remember VR*



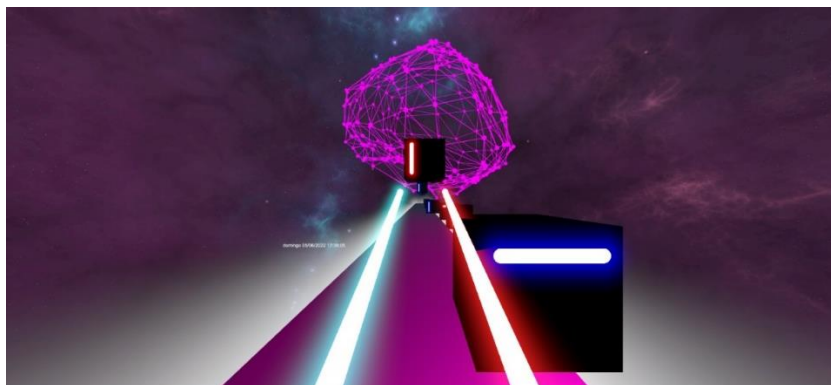
**Figura 27** Escenario del nivel 3 en Remember VR



#### 6.1.15. Mecánicas de Juego primera versión ambiente virtual

La mecánica de juego o de interacción del usuario en la primera versión del ambiente virtual, consistió en que, a través de los actuadores del usuario, los cuales eran dos sables color azul y color rojo como se muestra en la figura 28 pudiera a través de la acción de cortar, eliminar los cubos enemigos color rojo y azul que se encuentran desplazándose directamente hacia la ubicación donde se encuentra. Estos cubos avanzan al ritmo de la música que aumenta en cada nivel haciendo que el usuario final sea inducido al movimiento.

**Figura 28** Mecánica de cortar primera versión de Remember VR



#### 6.1.16. Flujo de Juego primera versión del ambiente virtual

La primera versión del ambiente virtual cuenta con tres niveles de intensidad donde progresivamente la velocidad de los objetos que debe destruir el paciente aumenta en cada nivel, esto genera que el participante deba moverse más rápido induciendo así mayor esfuerzo motor y también el aumento de su frecuencia cardiaca.

- Nivel 1:

En este nivel, el participante debe escuchar una canción que tiene 105 golpes por minuto con una duración de 4 minutos con 9 segundos, en la medida de este ritmo van apareciendo los cubos rojos y azules que debe de ir destruyendo consecuentemente con el sable que tiene de color rojo para la mano derecha y el sable de color azul para la mano izquierda.

- Nivel 2:

En este nivel el usuario debe escuchar una canción que tiene 175 golpes por minuto y cuenta con una duración de 4 minutos con 41 segundos en la cual el usuario deberá continuar con la tarea de eliminación de cubos rojos y azules pero esta vez a un ritmo mayor de velocidad lo que implica un aumento progresivo de su frecuencia cardiaca.

- Nivel 3:

En este nivel el usuario debe escuchar una canción que tiene 174 golpes por minuto y cuenta con una duración de 3 minutos con 41 segundos en la que debe continuar con la tarea asignada destruyendo los cubos que seguirán apareciendo de forma rápida y progresiva al ritmo de la canción.

### 6.1.17. Programación ambiente virtual

Los códigos de programación correspondientes al desarrollo del ambiente virtual inmersivo se encuentran en los Anexos del presente documento. El lenguaje de programación usado fue C#.

### 6.1.18. Evaluación primera versión del ambiente virtual

#### 6.1.18.1. Preguntas realizadas para los primeros tres pacientes muestreados

En los Anexos, en el apartado A. Se encuentran las preguntas realizadas a las personas luego de la interacción con el ambiente virtual.

#### 6.1.18.2. Resultados de realizar la primera versión del ambiente virtual con pacientes

La primera versión de Remember VR se realizó con los siguientes participantes que se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6** Participantes del pilotaje.

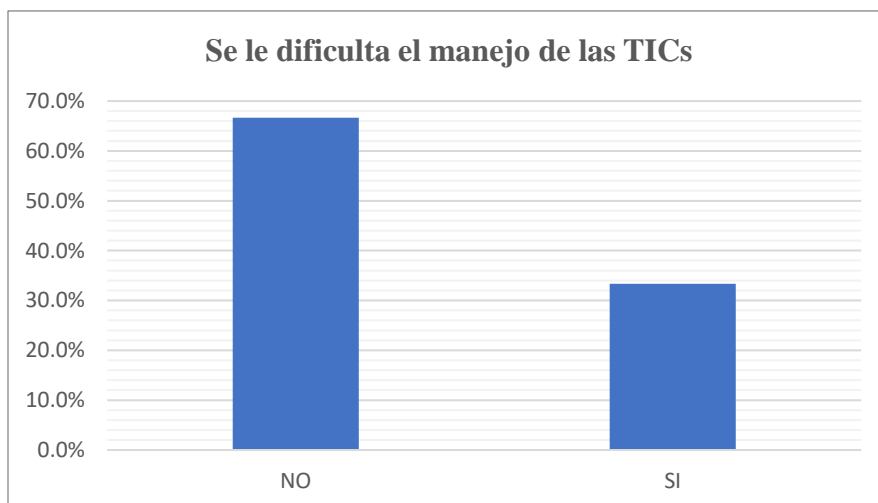
<b>Participante</b>	<b>Edad</b>	<b>Nivel de estudio</b>
Paciente 1	67	TECNOLÓGICO
Paciente 2	49	POSGRADO
Paciente 3	63	UNIVERSITARIO

La edad promedio de la primera muestra fue de 60 años. De las preguntas realizadas en las encuestas, el 33,3% de los pacientes son hipertensos, el restante no cuenta con ninguna otra enfermedad. Además, Todos los pacientes caminan sin ayuda, pueden realizar las actividades de la vida diaria y no tienen problemas a nivel motor siendo así sujetos adecuados para la intervención con el ambiente virtual piloto.



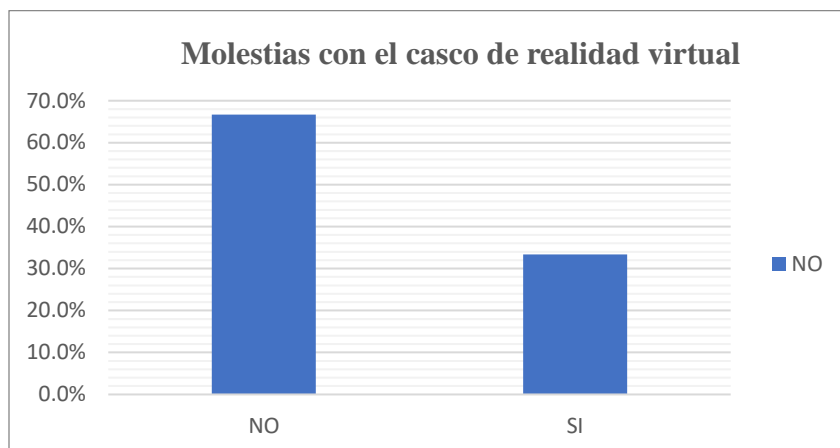
Una vez culminada la intervención con la primera versión del ambiente virtual, como se muestra en la figura 29, se observa cómo el 66,7% de los pacientes no se les dificulta el uso de la tecnología y al 33,3% restante si, sin embargo, independientemente de contar con las competencias para su uso, la percepción y aceptación de la herramienta es positiva, puesto que implica utilizar la tecnología para evidenciar su desempeño con el ambiente virtual de realidad virtual a través de una página web.

**Figura 29** *Se le dificulta el manejo de las TICs*



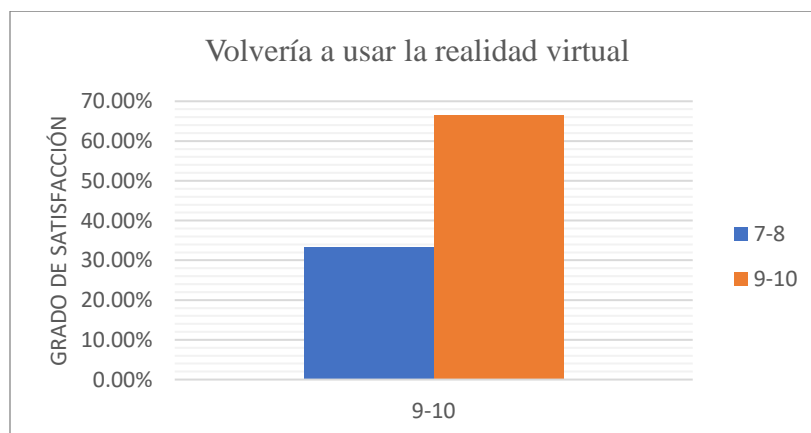
Además, del análisis posterior a la experiencia, se puede inferir que a todos los participantes del estudio no les generó ninguna molestia el uso del casco de la realidad virtual, sin embargo, el 33.3% considera complejo el uso de la tecnología, como se observa en la figura 30.

**Figura 30** *Molestias con el casco de realidad virtual*



Finalmente, como se muestra en la figura 31. Se puede afirmar que para estos participantes el grado de satisfacción es el máximo, el 100% muestran una satisfacción de 9 a 10 en una escala de 1 a 10 donde uno sería para nada satisfecho y 10 completamente satisfecho, de tal modo que el 66.7% en la misma escala volvería a usar la tecnología de realidad y el ambiente virtual desarrollado.

**Figura 31** *Satisfacción e intención de implementación de la realidad virtual*



Por último, ningún paciente de la muestra inicial tuvo algún problema con el uso de la realidad virtual y la primera versión del ambiente virtual y en una escala de 1 a 10, la calificación fue de 10 en su totalidad, es decir, estos pacientes no tienen problema con el uso de la tecnología.

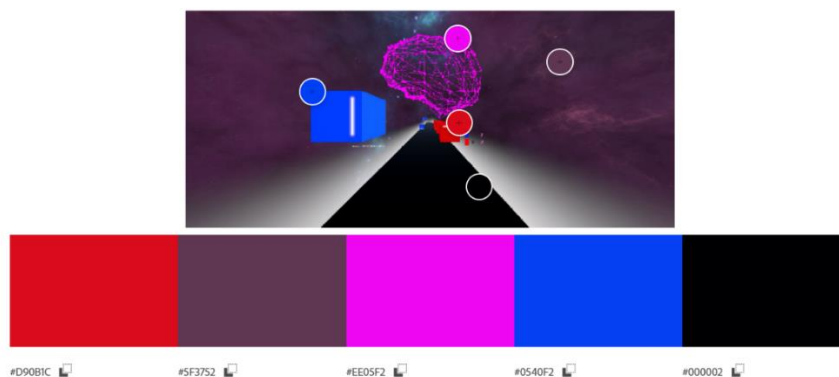
Dado estos resultados frente a la percepción de los pacientes con la primera versión piloto del ambiente virtual de Remember VR, el uso de la tecnología fue favorable, sin embargo, el movimiento ante la interacción del usuario al cortar los cubos no era tan intuitivo para ellos y por consiguiente se les dificultaba un poco seguir la instrucción de la tarea la cual era cortar los cubos con los sables que tenían dentro del espacio virtual.

## **6.2. Diseñar e implementar un prototipo funcional del ambiente virtual centrado en el usuario teniendo en cuenta la información adquirida en las encuestas.**

Teniendo en cuenta la información adquirida por los participantes ante la primera versión piloto del ambiente virtual y en correspondencia al principio de la metodología de cocreación la cual tiene al centro las apreciaciones del usuario final en el proceso de creación, se decidió implementar mejoras en el prototipo funcional del ambiente virtual piloto.

### 6.2.1 Estilo Visual Segunda versión del Ambiente virtual

Dada la necesidad de los usuarios de poder identificar con mayor facilidad los elementos dentro del ambiente virtual, se procedieron a cambiar algunos colores de la composición de escena del ambiente virtual piloto como se muestra en la figura.32. Allí comparando con la primera versión del ambiente virtual. Se puede observar cómo cambia el color del suelo de la rampa, el color de los elementos de la red neuronal del fondo y el color de los cubos rojos y azules, quienes, a diferencia de la versión inicial, son de fondo entero cada uno junto con franjas de color blanco.

**Figura 32** Paleta de colores Segunda versión del Ambiente virtual

### 6.2.2 Alcance segunda versión Ambiente virtual

Dada la retroalimentación obtenida por los pacientes en la primera versión del ambiente virtual, se cambiaron canciones con el fin de aumentar el ritmo con la que los cubos se acercan al usuario para inducir en ellos mucho más movimiento, además, por petición de los participantes en el piloto, se agregó música colombiana en uno de los niveles como se muestra en la tabla 7. Además, para esta segunda versión del ambiente virtual de Remember VR, se continuó con los tres niveles de intensidad, cada uno con la duración correspondiente al tiempo de la canción de cada nivel para tener un espacio de interacción de un total de 12:52 segundos.

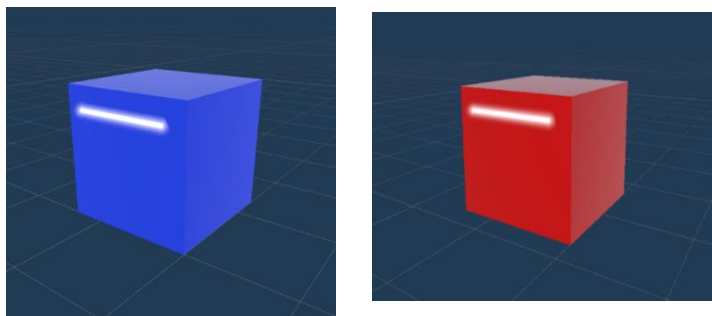
**Tabla 7** Música, duración y ritmo por cada nivel de la segunda versión del ambiente virtual

Nivel	Canción	BPM	Duración
1	Rudimental - Waiting All Night (ft. Ella Eyre)	175	04:41
2	Fun: We Are Young ft. Janelle Monáe	184	04:12
3	Carlos Vives: La Parrandita	193	03:59

### 6.2.3. Objetos de la Segunda versión del Ambiente Virtual

Debido a que, en la primera versión del ambiente virtual, los participantes no lograban identificar con facilidad los objetos con los cuales debían interactuar, se procedió a cambiar el color de los mismos por uno completo rojo y azul, además de cambiar la disposición geométrica de referencia de la franja de cada cubo por un color blanco y una geometría más delgada como se muestra en la siguiente figura. 33.

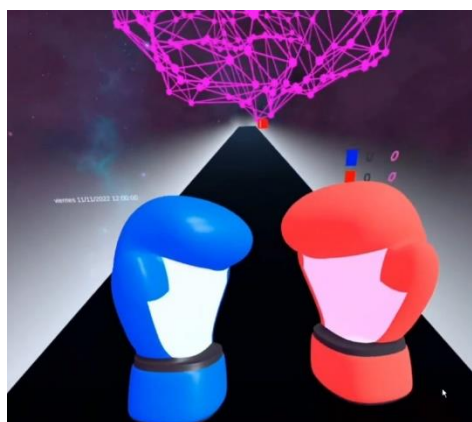
**Figura 33** *Objetos a destruir en la segunda versión del ambiente virtual Remember VR*



### 6.2.4 Actuadores del Ambiente virtual segunda versión del ambiente virtual

En la segunda versión del ambiente virtual, debido a que los participantes no se familiarizaban intuitivamente con el manejo de los sables de luz, se decidió cambiar estos actuadores por unos guantes color rojo y azul como se muestra en la siguiente figura 34.

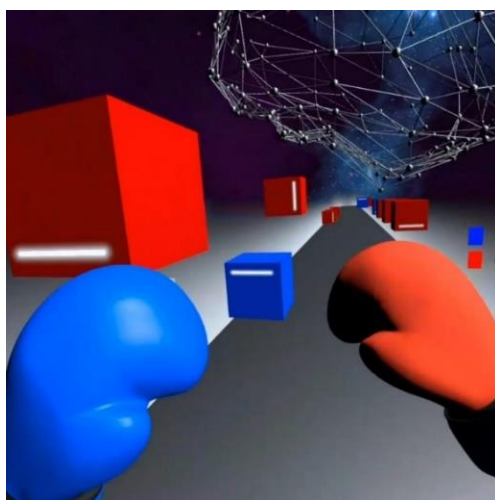
**Figura 34** *Actuadores segunda versión del ambiente virtual*



### 6.2.5. Mecánicas de Juego segunda versión ambiente virtual

La mecánica de juego o de interacción del usuario en la segunda versión del ambiente virtual, consistió en que, a través de los actuadores del usuario, los cuales eran dos guantes color azul y color rojo como se muestran en la figura 35, pudiera a través de la acción de golpear, eliminar los cubos enemigos color rojo y azul que se encuentran desplazándose directamente hacia la ubicación donde se encuentra. Estos cubos al igual que la primera versión del ambiente virtual, avanzan en las mismas líneas de acción y al ritmo de la música que aumenta en cada nivel haciendo que el usuario final sea inducido a un movimiento similar al que se tiene con una actividad de boxeo.

**Figura 35** Mecánica de golpear en segunda versión de Remember VR



### 6.2.6 Flujo de Juego segunda versión del ambiente virtual

La segunda versión del ambiente virtual cuenta con tres niveles de intensidad donde progresivamente la velocidad de los objetos que debe golpear el paciente aumenta en cada nivel, esto genera que el participante deba moverse más rápido induciendo así mayor esfuerzo motor y

también el aumento de su frecuencia cardiaca en comparación con la primera versión del ambiente virtual.

- Nivel 1:

En este nivel, a diferencia de la primera versión. El participante debe escuchar una canción con un ritmo mayor desde el principio, la cual tiene 175 golpes por minuto con una duración de 4 minutos con 41 segundos, en la medida de este ritmo van apareciendo los cubos rojos y azules que debe de ir destruyendo consecuentemente con el guante que tiene de color rojo para la mano derecha y el guante de color azul para la mano izquierda.

- Nivel 2:

En este nivel el usuario debe escuchar una canción que tiene un ritmo mayor al del nivel 1, la cual tiene 184 golpes por minuto y cuenta con una duración de 4 minutos con 12 segundos en la cual el usuario deberá continuar con la tarea de eliminación de cubos rojos y azules pero esta vez a un ritmo mayor de velocidad lo que implica un aumento progresivo de su frecuencia cardiaca.

- Nivel 3:

En este nivel el usuario debe escuchar una canción que tiene un ritmo mayor al del nivel 2, la cual tiene 193 golpes por minuto y cuenta con una duración de 3 minutos con 59 segundos en la que debe continuar con la tarea asignada destruyendo los cubos que seguirán apareciendo de forma rápida y progresiva al ritmo de la canción.

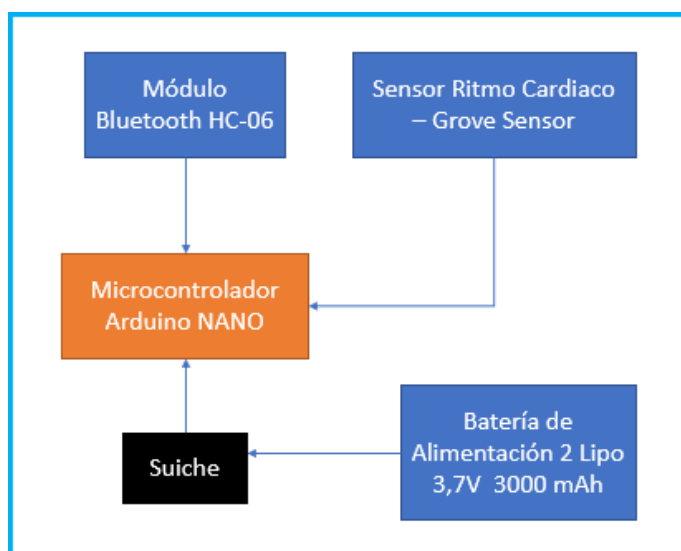
**6.3. Diseñar un prototipo funcional de un sistema de Telemonitoreo de frecuencia cardiaca y cantidad de movimiento para los pacientes que hacen uso del ambiente virtual usando IOMT y visión por computadora.**

En el desarrollo del objetivo, se realizó un dispositivo de frecuencia cardiaca, se adquirió uno para la implementación final con pacientes y se desarrolló una plataforma web donde se alojó la información adquirida por el usuario tanto del ambiente virtual como de la frecuencia cardiaca y el movimiento que tuvo durante la intervención.

**6.3.1. Dispositivo adquisición frecuencia cardiaca desarrollado**

Para la primera versión del ambiente virtual de Remember VR. Se desarrolló un dispositivo de adquisición de frecuencia cardiaca el cual tuvo en cuenta un microcontrolador Arduino Nano, un módulo de Bluetooth HC-06, un sensor de ritmo cardiaco – Grove sensor y una batería de alimentación (2 lipo 3.4V 3000 mAh) como se muestra en la figura 36.

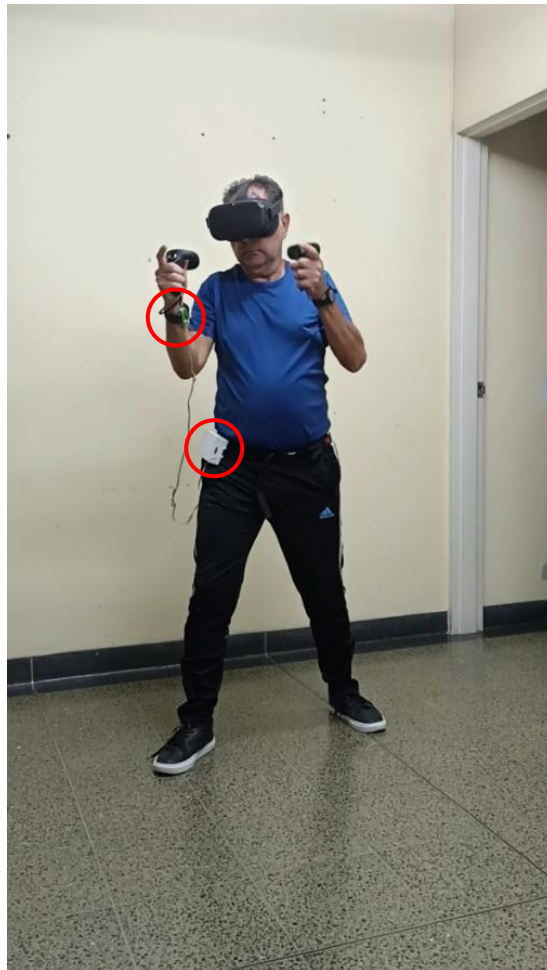
**Figura 36** *Dispositivo Adquisición Cardiaca desarrollado*





Al realizar la prueba con el sistema de adquisición de frecuencia cardiaca desarrollado junto con el primer ambiente de realidad virtual, se evidenció que los usuarios tenían inconvenientes al mover los brazos durante la actividad, pues el sensor del dispositivo que iba conectado a la muñeca del participante y que iba sujetado a su cadera como se muestra en la figura 37, impedía una movilidad más libre y dificultaba la experiencia del usuario durante la intervención. Además, la adquisición de la información de la frecuencia cardiaca del sensor presentaba intermitencia y no se adquiría con constancia la señal de estudio de la investigación.

**Figura 37** *Participante con dispositivo de frecuencia cardiaca desarrollado*



### 6.3.1.1. Aplicación móvil

Para el envío de los datos adquiridos por el dispositivo de frecuencia cardiaca desarrollado, se realizó una aplicación Android de celular, la cual recibe a través de comunicación Bluetooth los datos enviados por el dispositivo y envía la información a la plataforma web desarrollada.

La aplicación como se muestra en la figura 38, permite la comunicación bluetooth con el sistema de adquisición de frecuencia cardiaca. Solicita ingresar la fecha en la que se realiza la sesión con el ambiente virtual inmersivo, Solicita también la cédula que identifica al usuario en el sistema web para el correspondiente almacenamiento de la información y un botón de envío de datos para cuando haya terminado la sesión con el ambiente virtual inmersivo.

**Figura 38** *Aplicación Móvil de Adquisición de Frecuencia Cardiaca*



Luego de realizar la intervención con el primer ambiente virtual y adquirir la frecuencia de los pacientes con el dispositivo de frecuencia cardiaco desarrollado, se evidenció aumento en las frecuencias cardiacas como se muestra en la tabla 8, pero debido a los inconvenientes mencionados sobre la implementación del dispositivo, se procedió a buscar una nueva solución para la adquisición de esta variable de estudio.

**Tabla 8** *Frecuencia Adquirida Participantes de la primera versión del ambiente virtual*

*Remember VR*

<b>Frecuencia Cardiaca</b>						
<b>Diada 1</b>	<b>Paciente 1</b>	<b>Max</b>	124 bpm	<b>Cuidador 1</b>	<b>Max</b>	136 bpm
		<b>Min</b>	66 bpm		<b>Min</b>	100 bpm
<b>Diada 2</b>	<b>Paciente 2</b>	<b>Max</b>	97 bpm	<b>Cuidador 2</b>	<b>Max</b>	115 bpm
		<b>Min</b>	51 bpm		<b>Min</b>	61 bpm
<b>Diada 3</b>	<b>Paciente 3</b>	<b>Max</b>	98 bpm	<b>Cuidador 3</b>	<b>Max</b>	127 bpm
		<b>Min</b>	48 bpm		<b>Min</b>	75 bpm

### 6.3.2. Dispositivo adquisición frecuencia cardiaca Adquirido

Se procedió a investigar un sensor que cumpliera con la usabilidad esperada con la intervención y la interacción con el ambiente virtual inmersivo. Por consiguiente, se indagó en la literatura y se eligió al sensor polar H10 como el dispositivo adecuado para la adquisición de frecuencia cardiaca.

El Polar H10 es un dispositivo que mide la frecuencia cardíaca con gran precisión. se puede llevar en el pecho durante el ejercicio o la actividad física. Está diseñado para medir la frecuencia cardíaca del usuario y transmitir esa información a un teléfono inteligente u otro dispositivo a través de Bluetooth. Debido a que va sujetado al pecho, permite al usuario de la intervención contar con libertad en sus manos lo que le permite tener libertad de movimiento y mayor comodidad [61].

Un estudio publicado en la revista *Medicine & Science in Sports & Exercise* comparó la precisión del Polar H10 con la de otros dispositivos de adquisición de frecuencia cardíaca durante la realización de ejercicios de intensidad moderada y alta. Los resultados mostraron que el Polar H10 tenía una precisión similar o superior a la de otros dispositivos evaluados. Un estudio publicado en la revista *Journal of Sports Sciences* comparó la precisión del Polar H10 con la de un electrocardiograma (ECG) durante la realización de ejercicios de intensidad moderada y alta. Los resultados mostraron una alta precisión y fiabilidad para el Polar H10 en la adquisición de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio [62].

**Figura 39** *Dispositivo de Frecuencia Cardíaca Polar H10*



El dispositivo Polar H10, como se muestra en la figura 39, envía la información adquirida a una plataforma llamada Polar Flow, la cual registra toda la información capturada por el sensor y dada sus buenas prestaciones, fue el dispositivo tenido cuenta para la intervención de los 12 participantes con la segunda versión del ambiente virtual.

**Figura 40** Plataforma Polar Flow Adquisición datos de Frecuencia Cardiaca

Historial de entrenamiento

Seleccionar deporte

30-07-2022 25-01-2023 Último mes Últimos 3 meses Últimos 6 meses

Mostrar Todos

Todos

Fecha ▶	Deporte ▲	Duración ▶	Distancia ▶	FC Med ▶	Calorías ▶	Notas ▶
<input type="checkbox"/> 27-12-2022		00:14:28		72 ppm	23 kcal	
<input type="checkbox"/> 27-12-2022		00:15:52		108 ppm	82 kcal	
<input type="checkbox"/> 27-12-2022		00:07:13		100 ppm	31 kcal	
<input type="checkbox"/> 27-12-2022		00:15:21		107 ppm	77 kcal	
<input type="checkbox"/> 27-12-2022		00:16:47		115 ppm	101 kcal	
<input type="checkbox"/> 27-12-2022		00:14:40		113 ppm	85 kcal	
<input type="checkbox"/> 20-12-2022		00:13:23		109 ppm	72 kcal	
<input type="checkbox"/> 20-12-2022		00:14:21		80 ppm	28 kcal	
<input type="checkbox"/> 17-12-2022		00:13:52		117 ppm	85 kcal	
<input type="checkbox"/> 17-12-2022		00:15:05		115 ppm	90 kcal	

### 6.3.3. Plataforma Web desarrollada

En la investigación realizada por Rojas [63], se logró determinar que se requieren elementos funcionales y no funcionales para la plataforma web, teniendo en cuenta las consideraciones de los expertos en materia clínica y conocimiento técnico de ingeniería, de acuerdo a ello, se determinó que la herramienta web debía estar en la capacidad de capturar los resultados de la interacción del paciente con el ambiente de realidad virtual, así como de generar reportes de los mismos, además de contar con una sección de procesamiento de video para la obtención de variables de movimiento, las cuales se delimitaron en vectores de posición espacial de las articulaciones del participante suministradas por el algoritmo de pose Mediapipe.

**Figura 41** *Requerimientos funcionales y no funcionales Plataforma web.*

Requerimiento	Tipo de requerimiento
La plataforma debe contar con registro y acceso de usuarios, para poder visualizar la información de manera personalizada.	Funcional
La plataforma debe contar con una página de inicio donde se introduzca a los beneficios del uso de la realidad virtual.	Funcional
La plataforma debe contar con diferentes perfiles o roles que permitan personalizar las sesiones mostradas. Los administradores pueden acceder a los reportes de todos los pacientes, así como a la sección de procesamiento de video. Por otra parte, los usuarios o pacientes pueden acceder solamente a sus propios reportes, así como a los resultados de sus sesiones con el ambiente virtual.	Funcional
La plataforma debe contar con un apartado de sesiones para los usuarios no administradores, donde se pueda visualizar mediante una tabla la fecha en la cual se realizó cada sesión con el ambiente virtual, así como el informe detallado de: cubos rojos acertados en el ambiente, cubos azules acertados en el ambiente, cubos rojos no acertados en el ambiente, cubos azules no acertados en el ambiente. Esta información debe estar discretizada por niveles, así como debe permitirse realizar búsquedas de históricos de manera sencilla.	Funcional
La plataforma debe contar con un apartado de reportes, donde dependiendo del rol del usuario, se podrá visualizar el reporte de todos los usuarios de la plataforma, o únicamente el reporte personalizado de la interacción con el ambiente. Este reporte debe ser dinámico, de tal manera que pueda generarse en intervalos de fechas personalizables por el usuario.	Funcional
La plataforma debe contar con una sección de procesamiento de video que sólo sea accesible por el rol de administrador. En esta sección, el administrador puede adjuntar el video de la interacción con el ambiente virtual capturado con el protocolo anteriormente mencionado, así como realizar el procesamiento de este para obtener los vectores de posición espacial de las diferentes articulaciones.	Funcional
La plataforma debe entregar en formato Excel los resultados del procesamiento del video de manera ordenada, donde se evidencie en cada cabecera de columna el nombre o identificador de la articulación específica, y en cada celda el vector de posición resultante.	Funcional
La aplicación debe ser desplegada en un servidor con sistema operativo Linux, para garantizar que todos los paquetes y dependencias instalados sean completamente de código abierto y puedan ser implementados sin ningún problema, así como también se pueda garantizar una estabilidad en cuanto a rendimiento de la plataforma.	No funcional
Las características del servidor deben ser tales que garanticen en todo momento el correcto funcionamiento de la plataforma.	No funcional

### *6.3.3.1. Algoritmo de detección de Pose MediaPipe*

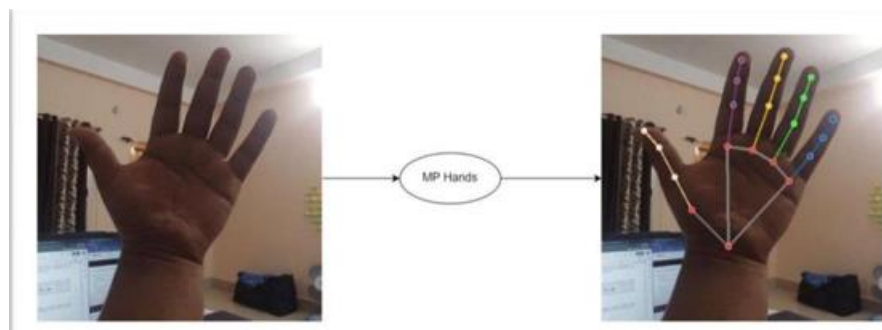
MediaPipe es una plataforma de software de código abierto desarrollada por Google que proporciona soluciones para problemas comunes en el proceso de análisis de imágenes y vídeo. El algoritmo de pose MediaPipe es un componente de la plataforma que se utiliza para detectar y rastrear la posición de una persona en una imagen o vídeo en tiempo real.

Este algoritmo utiliza una combinación de técnicas de visión por computadora, aprendizaje profundo y detección de objetos para realizar un seguimiento preciso de la posición de una persona en una imagen o vídeo en tiempo real. La detección de la pose se realiza utilizando una red neuronal conocida como PoseNet, que es entrenada para detectar y localizar los puntos clave en el cuerpo humano, como las manos, los hombros, las rodillas, etc.

El algoritmo de pose MediaPipe es ampliamente utilizado en diversas aplicaciones, como la realidad virtual y aumentada, la robótica, la medicina, entre otros. Su capacidad para realizar un seguimiento preciso de la posición de una persona en tiempo real hace que sea una herramienta valiosa para una amplia gama de aplicaciones.

MediaPipe realiza el procesamiento mediante grafos, los cuales son estructuras de las matemáticas discretas, las cuales son muy utilizadas en la informática, y básicamente consta de nodos conectados por aristas. En el canalizador de percepción llamado MediaPipe Graph, los nodos se denominan calculadoras y los bordes streams como se muestra en la figura 42 [63].

**Figura 42** Entrada y salida de ejemplo para una mano procesada por MediaPipe

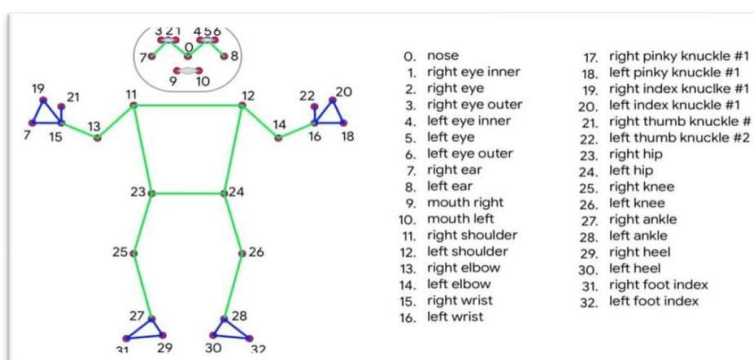


El algoritmo MediaPipe utiliza una técnica de segmentación basada en dos soluciones: landmarks y máscara de segmentación de fondo. Esto permite identificar y separar diferentes partes del cuerpo y realizar un seguimiento de la posición de cada parte en tiempo real.

De igual forma, en la misma investigación de Rojas [63]:

Los landmarks son puntos de referencia, los cuales, están nombrados del 0 al 32 y representan una articulación principal del cuerpo humano, mientras que la máscara de segmentación de fondo hace referencia a marcos RGB que unen dichos landmarks de una manera específica para formar finalmente el esqueleto del cuerpo como se muestra en la figura 43.

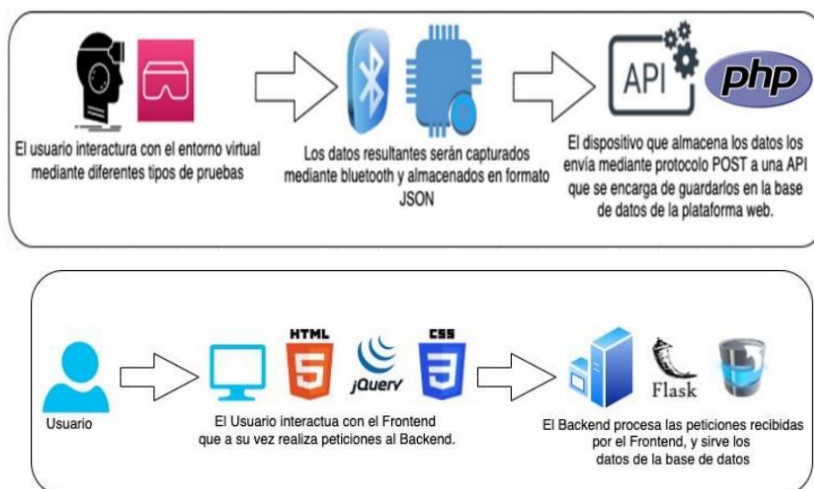
**Figura 43** Segmentación de pose corporal realizada por MediaPipe





Para el desarrollo de la plataforma web, se procedió a usar el siguiente Stack de tecnologías como se muestra en la siguiente figura 44.

**Figura 44** Imágenes de la secuencia de tecnologías usada



El desarrollo de la base de datos de la plataforma web se contempló que fuera relacional debido a las ventajas que ofrece en cuanto a la organización en el almacenamiento de la información, integridad de los datos, consultas eficientes, su posibilidad de escalabilidad, permite ser interoperable y ofrece gran robustez y seguridad en los datos. Las tablas usadas en la base de datos se muestran en la siguiente figura 45.

**Figura 45** Imágenes de la estructura de la base de datos



### 6.3.3.2. Entorno Gráfico de la plataforma Web

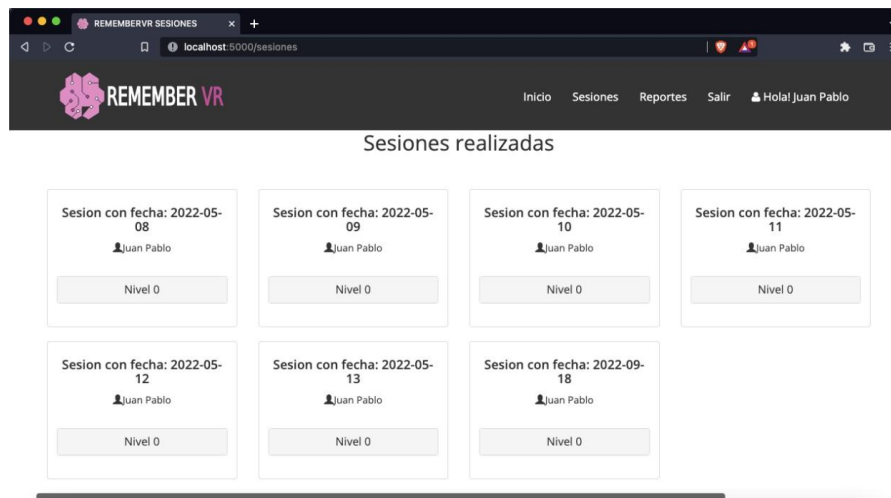
El entorno web de Remember VR, como se muestra en la figura 46, se visita a través de la siguiente url: <http://190.71.63.143:5000/>. Allí se les permite a los usuarios como al personal asistencial clínico, observar los registros del usuario ante el uso que tienen con el ambiente virtual inmersivo y la toma de la información cardiaca durante cada sesión.

**Figura 46** Sistema Web para visualización y seguimiento de información



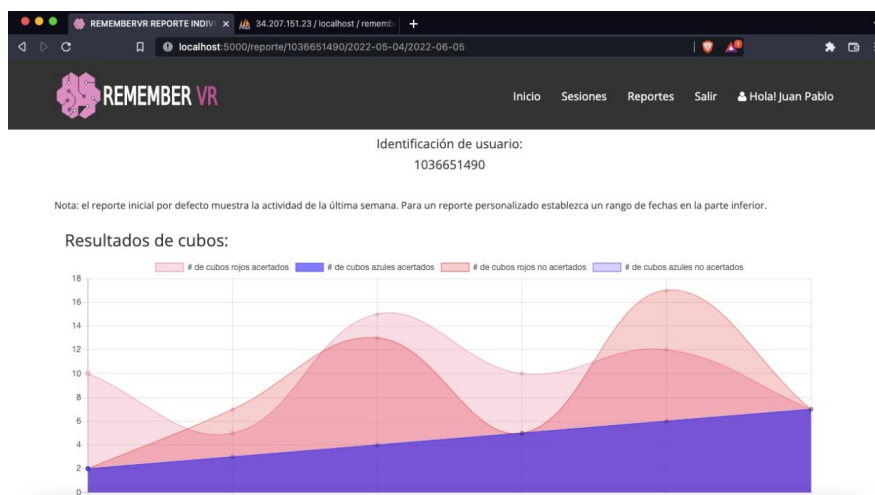
El entorno web, como se muestra en la figura 47, sirve para visualizar los datos que se adquieren de los participantes y que sirve para que tanto los usuarios, como los familiares y personal médico, puedan ver la información almacenada por sesiones realizadas, permitiendo así hacer seguimiento del avance del participante con el uso de la tecnología. Además; Permite procesar a través de un algoritmo, la cantidad de movimiento que tuvo por sesión a través de un video que se grabe durante la interacción con la tecnología de realidad virtual y el algoritmo de detección de movimiento de MediaPipe.

**Figura 47** Registro de datos de las sesiones del Usuario con el ambiente virtual inmersivo



El usuario puede registrarse en la plataforma web y luego de haberlo realizado, puede ir y visualizar la información de la cantidad de cubos que acertó durante la actividad con el ambiente virtual inmersivo por cada uno de los niveles de intensidad.

**Figura 48** Resultados en el tiempo del uso del ambiente virtual por usuario



En la plataforma web, como se muestra en la figura 49, se pueden subir los videos que se adquirieron de la interacción con los pacientes durante la intervención para poder correr el algoritmo de detección de movimiento y con ello obtener la información de los vectores de posición del usuario durante la interacción con el ambiente virtual de Remember VR,

**Figura 49** Sección de análisis de movimiento en video en plataforma web.



**6.4. Evaluar el sistema integral desarrollado en un grupo de pacientes con EA en estadio leve para evidenciar su aceptabilidad y pertinencia en el apoyo de procesos de rehabilitación con esta población.**

Para la evaluación del sistema tecnológico desarrollado, se realizó la intervención en un grupo de participantes con EA en estadio leve para evidenciar la aceptabilidad y pertinencia del sistema y de la segunda versión del ambiente virtual inmersivo desarrollado el cual presentaba mejoras según las consideraciones tenidas en cuenta en la primera versión realizada con pacientes. En total fueron considerados 12 participantes con EA, posteriores a los primeros tres tenidos en cuenta en la primera versión del ambiente virtual inmersivo implementado. Estos sujetos, se encuentran identificados como se muestra en la siguiente tabla 9.

**Tabla 9** *Participantes Intervención con el sistema tecnológico y la segunda versión del ambiente virtual inmersivo.*

<b>Paciente</b>	<b>Género</b>	<b>Nombre Participante</b>	<b>Cédula Participante</b>	<b>Edad</b>	<b>Peso (Kg)</b>	<b>Estatura (mts)</b>
<b>P4</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 1</b>	<b>43798026</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>1.65</b>
<b>P5</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 2</b>	<b>32555226</b>	<b>42</b>	<b>53</b>	<b>1.55</b>
<b>P6</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 3</b>	<b>21487283</b>	<b>55</b>	<b>56.5</b>	<b>1.50</b>
<b>P7</b>	<b>Masculino</b>	<b>Paciente 4</b>	<b>70562734</b>	<b>58</b>	<b>87</b>	<b>1.80</b>
<b>P8</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 5</b>	<b>43552032</b>	<b>52</b>	<b>87</b>	<b>1.53</b>
<b>P9</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 6</b>	<b>32560402</b>	<b>45</b>	<b>63</b>	<b>1.53</b>
<b>P10</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 7</b>	<b>32562815</b>	<b>42</b>	<b>62</b>	<b>1.62</b>
<b>P11</b>	<b>Masculino</b>	<b>Paciente 8</b>	<b>15325262</b>	<b>55</b>	<b>76</b>	<b>1.65</b>
<b>P12</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 9</b>	<b>39359068</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>1.62</b>
<b>P13</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 10</b>	<b>43656284</b>	<b>41</b>	<b>62</b>	<b>1.51</b>
<b>P14</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 11</b>	<b>22216482</b>	<b>45</b>	<b>60</b>	<b>1.60</b>
<b>P15</b>	<b>Femenino</b>	<b>Paciente 12</b>	<b>43037478</b>	<b>63</b>	<b>67.5</b>	<b>1.67</b>

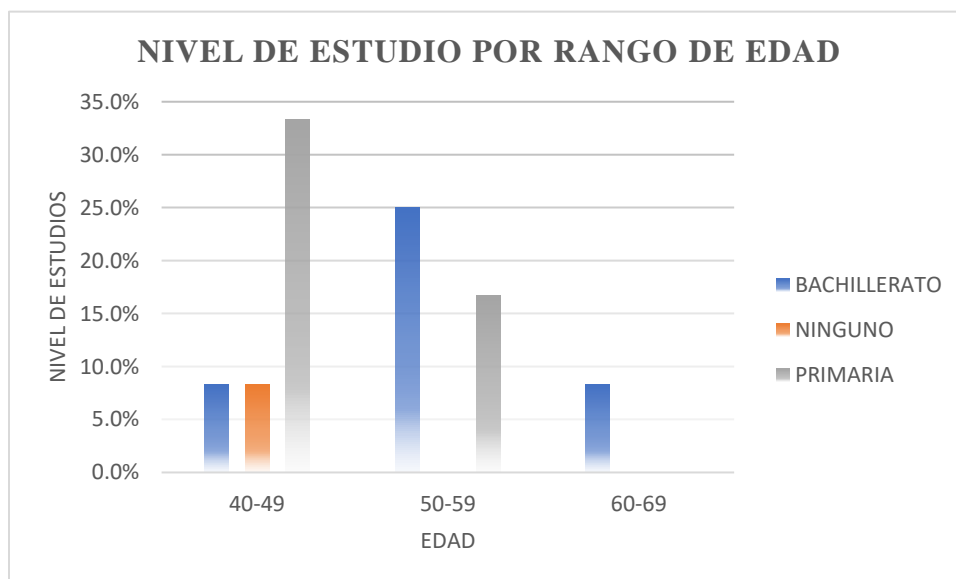
A los participantes se les realizó unas preguntas para tener conocimiento de su nivel de estudio por rango de edad, si realizaban actividad física y presentaban alguna enfermedad base o problema visoespacial.

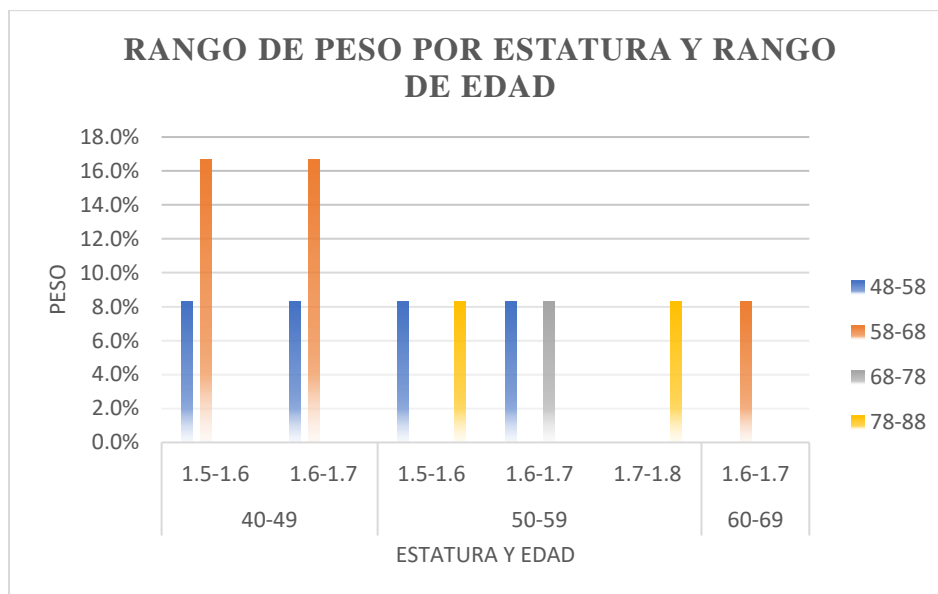
#### 6.4.1. Nivel de estudio por rango de edad de los participantes

En la muestra contamos con tres rangos de edad, el primero de 40 a 49 años, el segundo de 50 a 59 años y el tercero de 60 a 69 años con una participación del 50%, 41,7% y 8,3% respectivamente.

El nivel de educación por rango de edad se distribuye de la siguiente manera, en el primer rango el 33,3% de los pacientes terminaron la primaria, en el segundo rango el 25% el bachillerato y en el tercer rango 8,3% terminaron el bachillerato. Por otro lado, es posible identificar que el 50% de los pacientes estudiaron la primaria, el 41,7% de los pacientes el bachillerato, concluyendo que estos no tuvieron acceso a la educación superior.

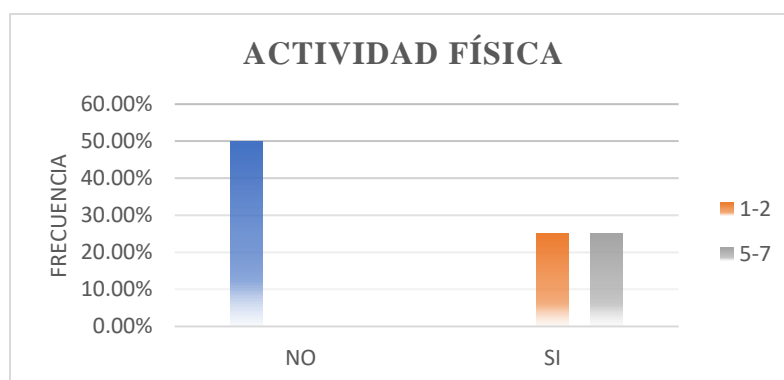
**Figura 50** Nivel de estudio por rango de edad



**Figura 51** Rango de peso por estatura y rango de edad

#### 6.4.2. Nivel de actividad física de los participantes

Del total de pacientes encontramos un 50% que no realizan ningún tipo de actividad física, de los que si la realizan un 25% lo hace 1-2 veces por semana y el 25% final 5-7 veces por semana.

**Figura 52** Actividad física

#### 6.4.3. Enfermedades base de los participantes

El 33,3% de los pacientes toman medicamentos para la hipertensión, además cuentan con enfermedades base como triglicéridos, colesterol, gastritis, hipotiroidismo, presión y sobrepeso. Del 58,3% que no toman dichos medicamentos el 8,3% padece anemia, pero el restante no cuenta con ninguna enfermedad base.

#### 6.4.4. Problemas a nivel motor y capacidad de ADLs

El 8,3% de los pacientes necesita ayuda para caminar durante más de 10 minutos y el 91,7% lo hace sin ayuda. De quienes caminan sin necesidad de ayuda un 16,7% pueden realizar actividades de la vida diaria a pesar de que tienen problemas a nivel motor y el 75% de quienes caminan sin necesidad de asistencia pueden fácilmente realizar sus actividades de la vida diaria ya que no cuentan con problemas a nivel motor.

#### 6.4.5. Problemas visoespaciales o cardiovasculares

Generalmente los pacientes no tienen patologías cardiovasculares, un total de 91,7% de los pacientes, de estos el 66,7% tampoco presenta problemas visoespaciales. Además, el 16,7% tienen problemas visoespaciales y el 75% no.



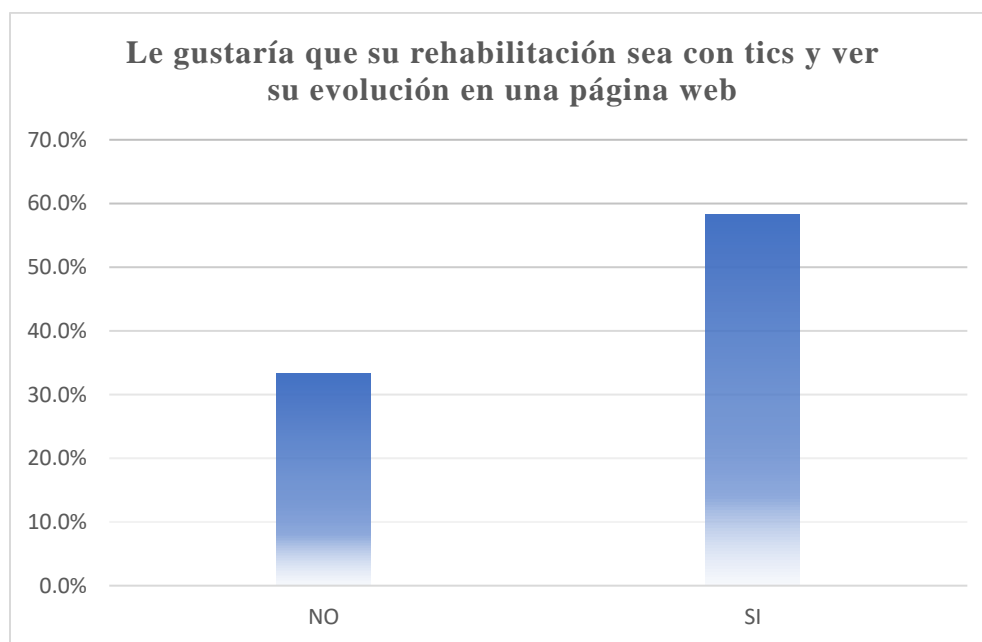
## 6.4.6. Evaluación de Aceptabilidad

### 6.4.6.1. Evaluación Aceptabilidad Plataforma web

Para evaluar la aceptabilidad de los participantes ante el uso de la segunda versión del ambiente virtual y de la plataforma web, se hicieron preguntas para saber qué tan satisfactorio para ellos era el uso de ambas plataformas, las cuales se encuentran en el Anexo A del documento.

En la muestra encuestada se observó que el 66,7% de los pacientes no se les dificulta el uso de la tecnología y al 33,3% restante si, además, desearían ver su evolución en una página web además de ayudar a su rehabilitación cognitiva en casa mediante el uso de las tecnologías actuales disponibles para ello.

**Figura 53** *Le gustaría que su rehabilitación sea con TICs y ver su evolución en una página web*



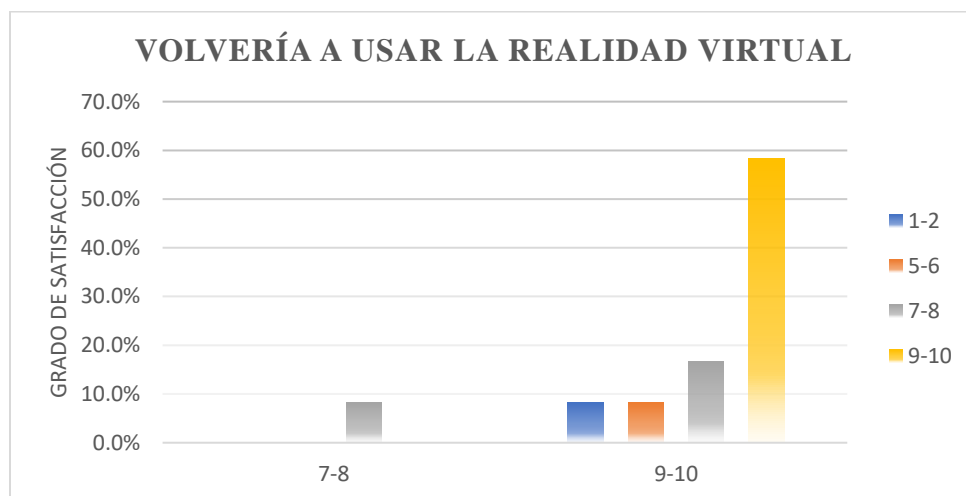
#### 6.4.6.2. Evaluación Aceptabilidad Ambiente virtual

- Molestias con el casco de realidad virtual

Describiendo el proceso detalladamente, la experiencia condujo a deducir que a todos los participantes del estudio no les genera ninguna molestia el uso del casco de la realidad virtual, pero al 58.33% se le dificulta su uso.

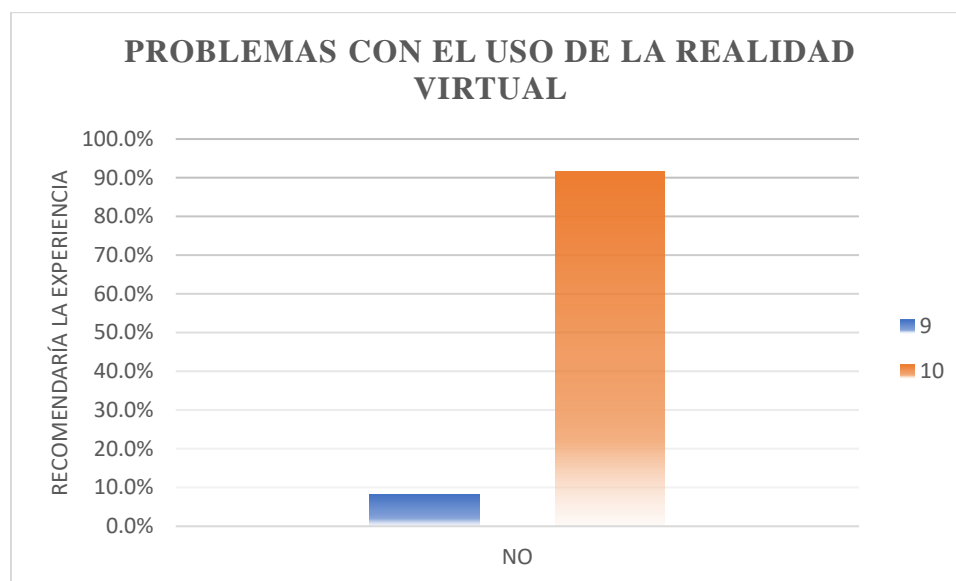
Se puede afirmar que para estos participantes el grado de satisfacción máximo que corresponde en una escala de 1 a 10 a en el intervalo 9-10 corresponde al 58,3% del total, es decir que volverían a usar la tecnología de realidad virtual.

**Figura 54** Satisfacción e intención de uso de la tecnología de realidad virtual.



Por último, ningún paciente de la muestra tuvo algún problema con el uso de la realidad virtual y en una escala de 1 a 10 donde se calificaría la intención de recomendar la tecnología de realidad virtual a un referido con la misma patología la calificación fue de 9 a 10 en su totalidad.

**Figura 55** Problemas con el uso de la realidad virtual e intención de recomendar la experiencia



#### 6.4.7. Evaluación de Pertinencia

##### 6.4.7.1 Análisis de resultados de Frecuencia Cardíaca

Durante la interacción con el ambiente virtual inmersivo, se le extrajo a los participantes la frecuencia cardíaca inicial antes de comenzar la intervención y también la frecuencia inicial de cada uno de los tres niveles en los que estuvo durante la actividad con el ambiente virtual, además de esto, se reportó la frecuencia cardíaca teórica máxima de cada participante y se documentó la frecuencia máxima que tuvo luego del uso del ambiente virtual inmersivo de Remember VR como se muestra en la siguiente tabla 10.

**Tabla 10** *Frecuencia cardiaca máxima durante la intervención y frecuencia cardiaca inicial de cada nivel de los participantes durante la interacción con Remember VR*

<i>Paciente</i>	<i>Frecuencia Cardiaca Máxima Intervención</i>	<i>Frecuencia Inicial Nivel1</i>	<i>Frecuencia Inicial Nivel 2</i>	<i>Frecuencia Inicial Nivel 3</i>
<i>P4</i>	106	67	80	90
<i>P5</i>	108	101	97	103
<i>P6</i>	118	75	83	110
<i>P7</i>	111	71	105	106
<i>P8</i>	133	82	126	114
<i>P9</i>	147	78	114	143
<i>P10</i>	91	74	86	80
<i>P11</i>	137	63	128	107
<i>P12</i>	132	92	117	120
<i>P13</i>	135	98	121	131
<i>P14</i>	124	98	106	117
<i>P15</i>	122	91	116	116

Luego de la intervención con cada participante se procesó la información obtenida de sus frecuencias cardiacas y se consolidó la siguiente tabla 11 con el promedio de las frecuencias por cada uno de los niveles de la intervención con la versión mejorada del ambiente virtual de Remember VR.

**Tabla 11** Frecuencias cardiacas promedio por niveles de los participantes

<i>Paciente</i>	<i>Promedio Nivel 1</i>	<i>Promedio Nivel 2</i>	<i>Promedio Nivel 3</i>
<b>P4</b>	68.06	92.55	96.66
<b>P5</b>	97.66	100.95	103.32
<b>P6</b>	80.88	93.37	107.87
<b>P7</b>	93.71	103.25	102.55
<b>P8</b>	115.57	118.88	123.12
<b>P9</b>	103.42	129.20	129.53
<b>P10</b>	77.54	81.93	79.09
<b>P11</b>	102.26	116.07	111.44
<b>P12</b>	105.95	115.88	119.85
<b>P13</b>	105.12	120.16	126.47
<b>P14</b>	99.82	112.89	108.73
<b>P15</b>	101.18	115.39	111.28

#### 6.4.7.2 Pruebas de hipótesis T para dos muestras emparejadas en Análisis de Frecuencia Cardíaca

Para validar la información adquirida de los pacientes, se procedió a realizar pruebas de hipótesis T para medias de dos muestras emparejadas y saber estadísticamente la pertinencia de la actividad realizada por los participantes usando la tecnología de realidad virtual, tanto para el análisis de frecuencia cardíaca como para el análisis de movimiento.

En el experimento se compararon los promedios de dos variables de interés. En cada uno de los resultados obtenidos de los pacientes que fueron sometidos a la actividad con el ambiente virtual inmersivo de realidad virtual, con esto se logró encontrar diferencias estadísticas entre los valores obtenidos en cada caso. Este tipo de pruebas se adapta al presente estudio, al contar con la información de los pacientes antes y después del uso del ambiente virtual inmersivo de realidad virtual. Para ello se comprobó previamente si los datos obtenidos responden a una distribución normal para que diera lugar la efectividad de la prueba.

Los datos de frecuencia cardiaca se tomaron durante los 12 minutos con 52 segundos que duraba la intervención con la segunda versión del ambiente de realidad virtual Remember VR, se reportaba un dato de frecuencia cada segundo dando así un total de 773 datos de frecuencia cardiaca para cada uno de los participantes que estuvieron presentes en la intervención.

#### 6.4.7.3 Pruebas de normalidad para cada una de las variables

Usando el test estadístico de Shapiro Wilk para evaluar si la muestra de datos proviene de una distribución normal. Se encontró que cada una de estas variables responde a una distribución normal por lo tanto se procede a realizar las pruebas T para dos muestras emparejadas correspondientes y las cuales se pueden ver detalladamente en el Anexo C

**Figura 56** Prueba de normalidad para las variables del análisis de frecuencias cardiacas

Shapiro-Wilk Test						
	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Frecuencia Inicial N1	Frecuencia Inicial N2	Frecuencia Inicial N3
W-stat	0.904443056	0.940066571	0.951285318	0.930573708	0.920635405	0.975144841
p-value	0.180990815	0.498934908	0.655846278	0.386232546	0.291218689	0.956578457
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes	yes	yes

#### 6.4.7.4 Anova para muestras emparejadas

Para validar si existe un cambio entre al menos un par de promedios de frecuencias por niveles observados se procedió a realizar una Anova para muestras emparejadas, en la cual se pretende

analizar si la intensidad de los niveles incide de manera significativa en los cambios de las frecuencias de los participantes del estudio.

**Hipótesis nula:** No existen diferencias significativas de la frecuencia cardiaca de los pacientes en los 3 niveles.

**Hipótesis alternativa:** Existen diferencias significativas de las frecuencias cardiacas en al menos un par de niveles

**Nivel de significancia 5%**

Repeated Measures Anova					
ANOVA				Alpha	0.05
<i>Sources</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P value</i>
Groups	1421.09312	2	710.546559	25.2085002	2.0342E-06
Error	620.109255	22	28.1867843		
Total	7768.9771	35			

**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis nula.

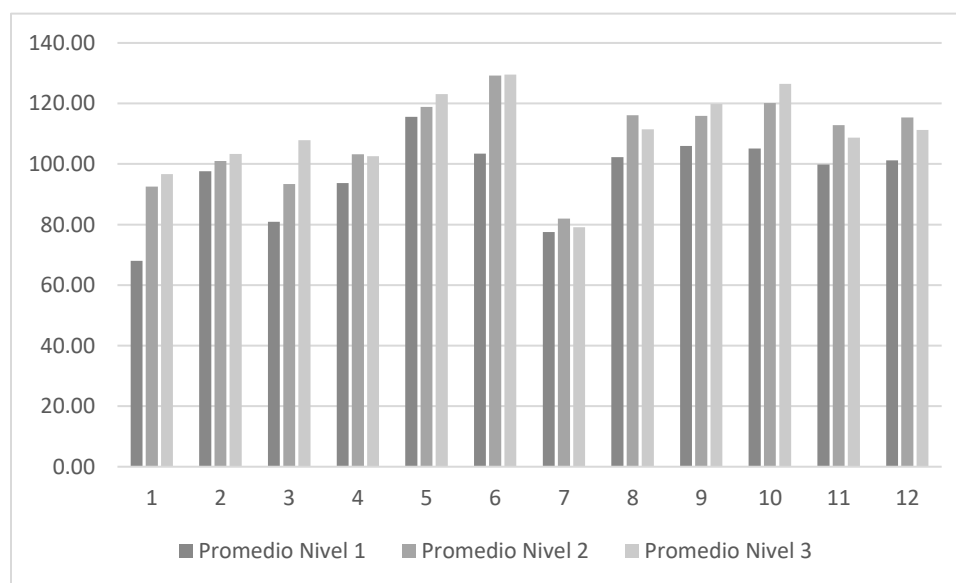
**Decisión:** Como el estadístico de prueba es  $F=25.208$ , mayor al valor crítico 3.377 ( $25.208 \geq 3.377$ ); Se concluye rechazar la hipótesis nula.

Con un nivel de significancia de 5% existe evidencia estadística para afirmar que existe un cambio mayor a cero en la frecuencia entre al menos un par de niveles observados. Para validar entre cual par de grupos existió diferencias significativas se realizó una prueba tukey obteniéndose lo siguiente:

TUKEY HSD: Repeated Pairwise paired t tests			
<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>p-value</i>	<i>mean</i>
Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	9.8893E-05	12.446898
Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 3	0.00026391	14.0619876
Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	0.33526165	1.61508963

Se encontró diferencias estadísticamente significativas tanto en los niveles 1 y 2 ( $p=9.88e-0.5 p < 0.05$ ), como en los niveles 1 y 3 ( $p=0.0002$ ), mientras que no existió diferencias significativas entre los niveles 2 y 3 ( $p=0.335, p > 0.05$ )

Figura 57 Gráfica de barras entre el promedio de frecuencia cardiaca del Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3



#### 6.4.7.5 Pruebas de hipótesis T para dos muestras emparejadas en Análisis de Frecuencia Cardiaca



Dado que existe evidencia estadística para afirmar que hay un cambio significativo mayor a cero en la frecuencia entre al menos un par de niveles de intensidad en la interacción con el ambiente virtual desarrollado. Se procede a realizar pruebas de hipótesis T para medias de dos muestras emparejadas y saber estadísticamente cuál nivel hace la diferencia entre los realizados durante la intervención de la segunda versión del ambiente virtual desarrollado junto con la tecnología de realidad virtual.

En el Anexo C, se muestran las pruebas realizadas en el experimento donde se compararon los promedios de dos variables de interés, con esto se logró encontrar diferencias estadísticas entre los valores obtenidos en cada caso. Este tipo de pruebas se adapta al presente estudio, al contar con la información de los pacientes antes y después del uso del ambiente virtual inmersivo de realidad virtual.

#### 6.4.8 Análisis de resultados de Movimiento

Los 12 participantes de la intervención fueron grabados con el fin de analizar en ellos el movimiento que tuvieron durante la interacción con el ambiente virtual inmersivo y sus tres niveles de intensidad.

Como la interacción con el ambiente virtual y sus niveles tienen un total de 12 minutos con 52 segundos por cada participante, tanta información para ser analizada por el algoritmo de MediaPipe volvía pesado y lento el procesamiento de los datos. Por esta razón, se decidió como consideración para el análisis de la información, tomar el primer minuto de video de cada nivel durante la intervención de cada participante para proceder a realizar el análisis numérico de los datos.

**Figura 58** *Captura Movimiento Tomado de los pacientes durante la intervención*



**Nivel 1**

**Nivel 2**

**Nivel 3**

Teniendo la captura del minuto de video tomado por nivel de cada uno de los participantes usando el ambiente virtual desarrollado con la tecnología de realidad virtual como se muestra la referencia de la figura 58. Se procedió a usar la plataforma web para procesarlos a través del algoritmo de MediaPipe, se consolidó la información de los vectores de posición para las articulaciones más relevantes en lo que corresponde a la dinámica de movimiento de boxeo, las cuales son los hombros derecho e izquierdo y los codos derecho e izquierdo respectivamente para cada participante.

Así mismo, como la información que entrega el algoritmo MediaPipe son representados por vectores de posición en coordenadas  $x,y,z$  del movimiento que realiza el usuario durante la intervención, en el tiempo de un minuto evaluado por nivel, se procedió a calcular la magnitud de estos vectores por cada uno de los pacientes para lograr consolidar la información y con ello realizar el análisis respectivo.

#### 6.4.8.1 Variables en Análisis de Movimiento

Las variables tenidas en cuenta para el análisis de movimiento durante la intervención son las siguientes:

**Posición inicial:** Corresponde a la magnitud exacta de la posición de la articulación que reporta el paciente en el instante inicial de cada nivel.

**Promedio nivel:** Corresponde a la magnitud promediada de la posición de la articulación que reporta el paciente durante todo el ejercicio de cada nivel.

**Promedio total:** Corresponde a la magnitud promediada del promedio de nivel 1, nivel 2 y nivel 3, es decir, la magnitud promedio durante todo el ejercicio.

El consolidado de la información de estas variables por cada una de las articulaciones tenidas en cuenta para el análisis (hombro derecho e izquierdo y codo derecho e izquierdo) se pueden ver en las siguientes tablas:

**Tabla 12** *Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Hombro Izquierdo luego de la intervención con el ambiente virtual*

Paciente	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
P4	0.43	0.50	0.51	0.48	0.40	0.53	0.53	0.49
P5	0.38	0.41	0.41	0.40	0.52	0.53	0.51	0.52
P6	0.51	0.51	0.51	0.51	0.53	0.52	0.51	0.52
P7	0.50	0.51	0.51	0.51	0.48	0.53	0.51	0.51
P8	0.50	0.51	0.52	0.51	0.54	0.51	0.53	0.53
P9	0.49	0.44	0.44	0.46	0.49	0.45	0.47	0.47
P10	0.50	0.52	0.50	0.51	0.50	0.49	0.46	0.48
P11	0.52	0.53	0.52	0.52	0.54	0.52	0.54	0.54
P12	0.51	0.51	0.51	0.51	0.48	0.47	0.54	0.50
P13	0.48	0.47	0.48	0.48	0.46	0.45	0.47	0.46
P14	0.52	0.53	0.52	0.53	0.49	0.51	0.51	0.50
P15	0.50	0.51	0.50	0.50	0.50	0.52	0.53	0.52

**Tabla 13** *Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Hombro Derecho luego de la intervención con el ambiente virtual*

Paciente	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
P4	0.42	0.49	0.50	0.47	0.36	0.49	0.52	0.46
P5	0.38	0.41	0.41	0.40	0.49	0.49	0.51	0.50
P6	0.50	0.50	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.51
P7	0.51	0.52	0.51	0.51	0.51	0.50	0.53	0.51
P8	0.50	0.51	0.51	0.51	0.49	0.48	0.52	0.50
P9	0.48	0.44	0.45	0.46	0.49	0.49	0.49	0.49
P10	0.48	0.50	0.49	0.49	0.47	0.48	0.47	0.47
P11	0.50	0.52	0.50	0.51	0.52	0.52	0.50	0.51
P12	0.48	0.50	0.49	0.49	0.49	0.50	0.51	0.50
P13	0.48	0.47	0.46	0.47	0.51	0.49	0.48	0.49
P14	0.48	0.48	0.47	0.48	0.47	0.44	0.45	0.45
P15	0.50	0.50	0.51	0.50	0.51	0.51	0.51	0.51

**Tabla 14** Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Codo Izquierdo luego de la intervención con el ambiente virtual

Paciente	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio Posición total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
P4	0.59	0.38	0.37	0.45	0.43	0.38	0.33	0.38
P5	0.37	0.33	0.34	0.34	0.46	0.68	0.39	0.51
P6	0.42	0.43	0.50	0.45	0.38	0.46	0.48	0.44
P7	0.44	0.47	0.50	0.47	0.36	0.52	0.49	0.46
P8	0.41	0.43	0.38	0.40	0.62	0.34	0.34	0.43
P9	0.47	0.37	0.37	0.40	0.57	0.33	0.30	0.40
P10	0.37	0.38	0.36	0.37	0.33	0.36	0.31	0.33
P11	0.47	0.43	0.42	0.44	0.39	0.42	0.42	0.41
P12	0.40	0.41	0.41	0.41	0.44	0.35	0.64	0.48
P13	0.38	0.37	0.37	0.37	0.28	0.35	0.33	0.32
P14	0.39	0.42	0.41	0.40	0.36	0.50	0.37	0.41
P15	0.38	0.43	0.45	0.42	0.38	0.38	0.57	0.44

**Tabla 15** Información Consolidada de las magnitudes del movimiento del Codo Derecho luego de la intervención con el ambiente virtual

Paciente	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio Posición total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
P4	0.55	0.38	0.36	0.43	0.32	0.31	0.38	0.34
P5	0.28	0.35	0.33	0.32	0.36	0.45	0.51	0.44
P6	0.42	0.43	0.49	0.44	0.36	0.35	0.55	0.42
P7	0.50	0.50	0.50	0.50	0.46	0.38	0.56	0.47
P8	0.41	0.43	0.41	0.42	0.34	0.31	0.34	0.33
P9	0.45	0.34	0.37	0.39	0.56	0.35	0.39	0.44
P10	0.34	0.37	0.36	0.36	0.30	0.38	0.35	0.34
P11	0.46	0.45	0.42	0.44	0.43	0.57	0.36	0.45
P12	0.41	0.45	0.44	0.43	0.54	0.58	0.62	0.58
P13	0.32	0.33	0.33	0.33	0.51	0.33	0.41	0.42
P14	0.35	0.36	0.35	0.35	0.38	0.37	0.34	0.37
P15	0.43	0.39	0.43	0.41	0.41	0.38	0.36	0.39

Las tablas anteriores permiten identificar el consolidado de información, de allí se procedió a verificar la normalidad en cada una de estas articulaciones con el fin de poder realizar las pruebas estadísticas que permitan validar si hay aumento en el movimiento durante la intervención con el ambiente de realidad virtual.

### Prueba de normalidad para cada una de las variables:

Se encuentra que no todas las variables para las articulaciones del hombro izquierdo, derecho y codo izquierdo responden a una distribución normal. por lo tanto, no se procede con ellas a realizar las pruebas T para dos muestras emparejadas correspondientes. Esto se puede observar en las figuras 59 y 60 para el hombro izquierdo, 61,62 para el hombro derecho y 63,64 para el codo izquierdo respectivamente.

### Hombro izquierdo:

**Figura 59** Prueba de normalidad para las variables del hombro Izquierdo

Shapiro-Wilk Test								
	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
W-stat	0.738904368	0.806209299	0.757309997	0.786266792	0.903461156	0.831198645	0.893915282	0.96598972
p-value	0.002051692	0.011032248	0.00318919	0.006567175	0.175793665	0.021678156	0.132374096	0.864609018
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	yes	no	yes	yes

**Hombro derecho:****Figura 60** Prueba de normalidad para las variables del hombro derecho

Shapiro-Wilk Test								
	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
W-stat	0.768233263	0.82867924	0.835075092	0.830000525	0.678516091	0.86355078	0.921064562	0.885124533
p-value	0.004170626	0.020224837	0.024134405	0.020973684	0.00052738	0.054170976	0.294852578	0.101979011
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	no	no	no	no	yes	yes	yes

**Codo izquierdo:****Figura 61** Prueba de normalidad para las variables del codo izquierdo

Shapiro-Wilk Test								
	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
W-stat	0.79632505	0.955392106	0.895775308	0.957282351	0.915085801	0.826958606	0.895883807	0.971349515
p-value	0.008512109	0.716593638	0.139899118	0.74444713	0.247770844	0.019291887	0.140351095	0.92441444
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	no	yes	yes	yes	yes	no	yes	yes

**Codo derecho:****Figura 62** Prueba de normalidad para las variables del codo derecho

Shapiro-Wilk Test								
	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 2	Promedio Nivel 3	Promedio total	Posición inicial N1	Posición inicial N2	Posición inicial N3	Promedio total posición inicial
W-stat	0.97696424	0.944993025	0.928435212	0.945949268	0.937361459	0.801022872	0.831015507	0.913743089
p-value	0.968586007	0.565314276	0.363821358	0.578722592	0.464665542	0.009623389	0.021568871	0.238204467
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes	yes	no	no	yes

De las articulaciones contempladas durante la intervención con el ambiente virtual (hombro Izquierdo, Codo Izquierdo y Hombro Derecho) al no responder a una distribución normal, se optó por realizar con cada una de ellas una prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras pareadas las cuales se pueden ver en el Anexo D. En las pruebas realizadas, se pudo comprobar comparando entre el promedio del movimiento de cada articulación del nivel 1 con respecto al nivel 3, ninguna de las articulaciones presentaba una diferencia estadística relevante para verificar el cambio entre los niveles comparados.

A diferencia de estas articulaciones que no tuvieron una distribución normal, el codo derecho, luego de realizar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, se evidenció que la mayoría de las variables respondieron a una distribución normal y por lo tanto se realizaron Pruebas estadísticas t para medias de dos muestras emparejadas y comprobar si hubo alguna diferencia relevante entre los niveles del ambiente virtual.



**Prueba 6: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en el promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 3 frente al promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 1.**

**Hipótesis inicial:** El promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 3 es igual al promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 1.

**Hipótesis alternativa:** El promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 3 es diferente al promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 1.

**Nivel de significancia 5%**

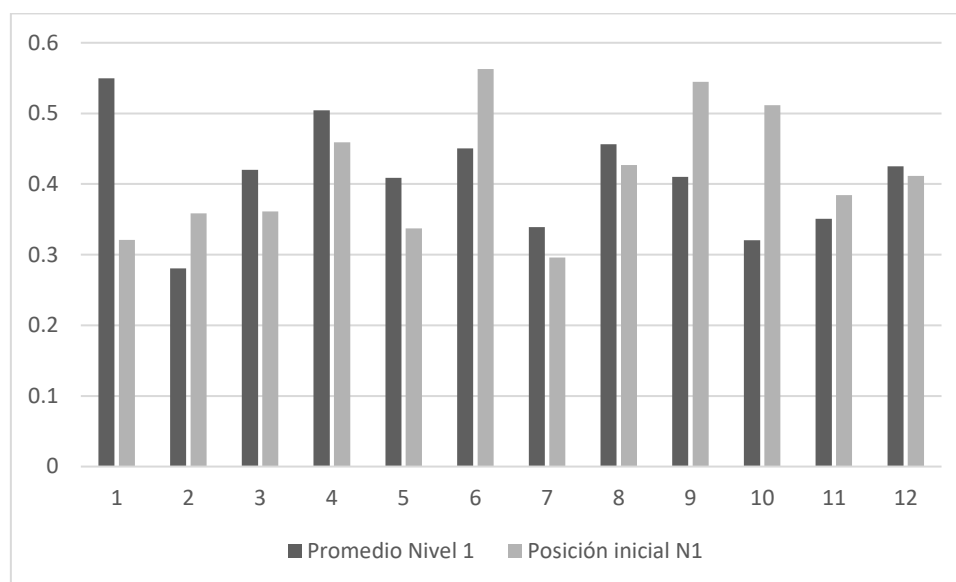
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Promedio Nivel 3</i>	<i>Promedio Nivel 1</i>
Media	0.398445864	0.409642599
Varianza	0.003370573	0.00599281
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.53839495	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-0.57666981	
P(T<=t) una cola	0.287887436	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.575774872	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba (en valor absoluto) sea mayor al valor crítico t (en valor absoluto) se rechaza la hipótesis inicial

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 0,5767, menor al valor crítico 2,201 ( $0,5767 \leq 2,201$ ); Se concluye no rechazar la hipótesis inicial. Con un nivel de significancia de 5% no existe evidencia estadística para afirmar que el promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 3 es diferente al promedio de magnitud de la posición del codo derecho del nivel 1.

Como se puede ver en la figura 63, se puede observar que comparando la magnitud del movimiento promedio del nivel 1 con la magnitud promedio de la posición inicial en el nivel 1, no se encuentra diferencia que permita evidenciar un cambio en el movimiento de los participantes ante la interacción con el ambiente virtual inmersivo.

**Figura 63** Gráfica de barras entre Movimiento promedio del Nivel 1 con la magnitud promedio de la posición inicial en el Nivel 1



**Prueba 7: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en el promedio de magnitud de la posición del codo derecho durante todos los niveles frente al promedio de magnitud de la posición del codo derecho en la posición inicial del nivel 1.**

**Hipótesis inicial:** El promedio total de magnitud de la posición del codo derecho en todos los niveles es igual al promedio de magnitud de la posición del codo derecho en la posición inicial del nivel 1.

**Hipótesis alternativa:** El promedio total de magnitud de la posición del codo derecho en todos los niveles es diferente al promedio de magnitud de la posición del codo derecho en la posición inicial del nivel 1.

#### Nivel de significancia 5%

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Promedio total</i>	<i>Posición inicial N1</i>
Media	0.402354007	0.41456193
Varianza	0.002951532	0.007833271
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.075102994	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-0.421578204	
P(T<=t) una cola	0.340726768	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.681453536	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba (en valor absoluto) sea mayor al valor crítico t (en valor absoluto) se rechaza la hipótesis inicial

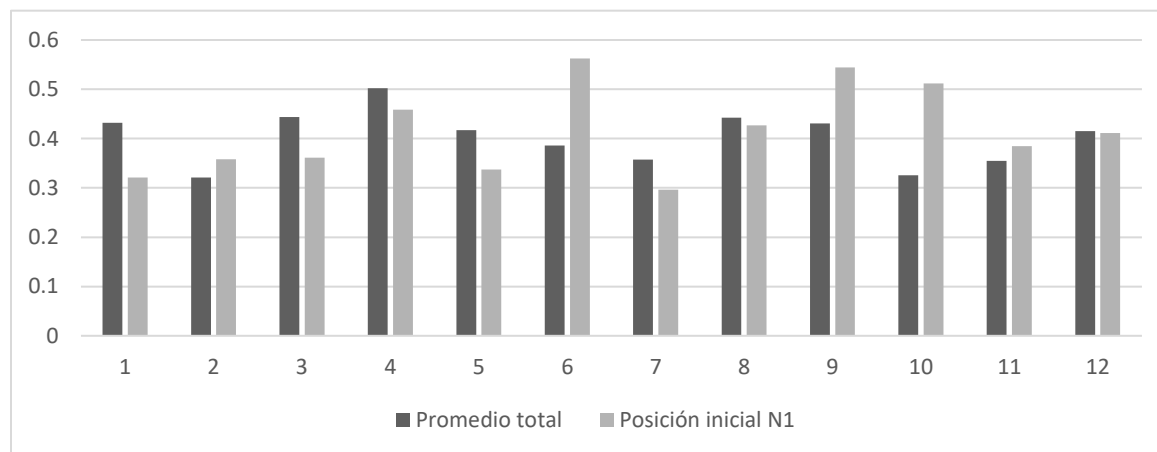
**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 0,4216, menor al valor crítico 2,201 ( $0,4216 \leq 2,201$ ); Se concluye no rechazar la hipótesis inicial.

Con un nivel de significancia de 5% no existe evidencia estadística para afirmar que el promedio total de magnitud de la posición del codo derecho en todos los niveles es diferente al promedio de magnitud de la posición del codo derecho en la posición inicial del nivel 1.

Como se puede ver en la figura 64, se puede observar que comparando la magnitud del movimiento promedio total con la magnitud promedio de la posición inicial en el nivel 1, no se encuentra diferencia que permita evidenciar un cambio en el movimiento de los participantes ante la interacción con el ambiente virtual inmersivo.

**Figura 64** *Gráfica de barras entre Movimiento promedio total con relación a la magnitud promedio de la posición inicial en el Nivel 1*

#### 6.4.9. Análisis de aciertos



Como se muestra en la siguiente tabla. Se consolidó la información adquirida de los participantes con EA ante el uso del ambiente virtual inmersivo con lo relacionado al número de cubos acertados rojos y azules por nivel, con el fin de realizar un análisis estadístico y determinar si hubo o no aumento en la cantidad de aciertos conforme aumentaban los niveles de intensidad en el ambiente virtual.

Tabla 16 *Información Consolidada de la cantidad de cubos rojos y azules acertados por nivel*

Participante	Cubos Rojos Acertados Nivel 1	Cubos Rojos Acertados Nivel 2	Cubos Rojos Acertados Nivel 3	Cubos Azules Acertados Nivel 1	Cubos Azules Acertados Nivel 2	Cubos Azules Acertados Nivel 3
P4	74	101	81	65	77	50
P5	18	65	90	2	73	98
P6	0	5	20	24	10	11
P7	46	101	104	28	79	42
P8	140	122	94	140	110	94
P9	70	64	61	84	72	65
P10	30	68	97	11	60	64
P11	112	114	102	120	117	100
P12	100	129	166	136	165	149
P13	102	75	104	88	85	93
P14	85	97	88	66	97	84
P15	75	77	50	91	79	74

#### 6.4.9 Variables en Análisis de Aciertos en el Ambiente Virtual con Cubos rojos y Azules por nivel

**Cubos rojos acertados:** Corresponde al promedio de cubos rojos que golpea el paciente durante el nivel.

**Cubos azules acertados:** Corresponde al promedio de cubos azules que golpea el paciente durante el nivel.

#### **Prueba de normalidad para cada una de las variables:**

Se encuentra que cada una de estas variables responde a una distribución normal por lo tanto se procede a realizar las pruebas T para dos muestras emparejadas correspondientes.

**Figura 65 Prueba de normalidad para las variables de cubos acertados**

Shapiro-Wilk Test						
	<i>Cubos Rojos Acertados 1</i>	<i>Cubos Rojos Acertados 2</i>	<i>Cubos Rojos Acertados 3</i>	<i>Cubos Azules Acertados 1</i>	<i>Cubos Azules Acertados 2</i>	<i>Cubos Azules Acertados 3</i>
W-stat	0.975565922	0.914803861	0.91592207	0.93833562	0.923606258	0.967051502
p-value	0.959558284	0.245732688	0.25390963	0.476816183	0.317218263	0.877597964
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes	yes	yes

**Prueba 8: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en el promedio de acierto de cubos rojos del nivel 3 frente al promedio de acierto de cubos rojos en el nivel 1.**

**Hipótesis inicial:** El promedio de acierto de cubos rojos nivel 3 es menor o igual al promedio de acierto de cubos rojos en el nivel 1.

**Hipótesis alternativa:** El promedio de acierto de cubos rojos nivel 3 es mayor al promedio de acierto de cubos rojos en el nivel 1.

**Nivel de significancia 5%**

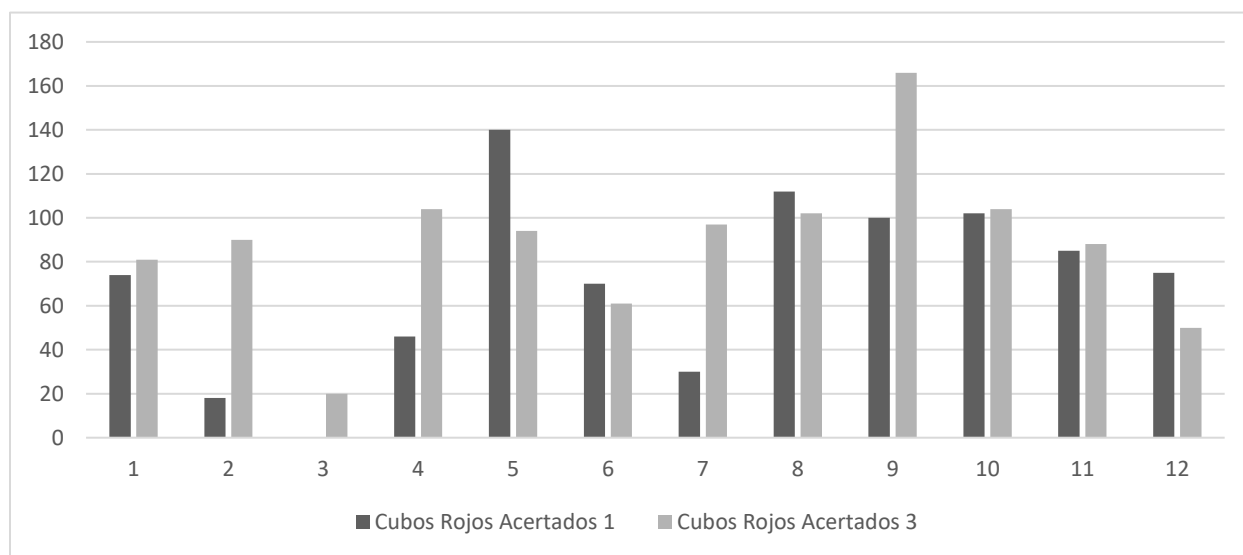
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Cubos Rojos Acertados 3</i>	<i>Cubos Rojos Acertados 1</i>
Media	88.08333333	71
Varianza	1250.810606	1692.909091
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.47186113	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	1.493315593	
P(T<=t) una cola	0.081736339	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.163472678	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis inicial

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 1,4933, menor al valor crítico 1,7959 ( $1,4933 \leq 1,7959$ ); Se concluye no rechazar la hipótesis inicial. Con un nivel de significancia de 5% no existe evidencia estadística para afirmar que el promedio de acierto de cubos rojos del nivel 3 es mayor al promedio de acierto de cubos rojos en el nivel 1.

En la figura 66, se puede observar que comparando la cantidad promedio de cubos rojos acertados en el nivel 1 con relación al promedio de cubos rojos acertados del nivel 3, no se evidencia diferencia estadística significativa que indique que el participante conforme aumentaba el nivel e intensidad durante la interacción con el ambiente virtual lograra acertar más a más cubos rojos.

**Figura 66** Gráfica de barras entre Cubos rojos Acertados del Nivel 1 con los Cubos rojos Acertados del Nivel 3



**Prueba 9: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en el promedio de acierto de cubos azules del nivel 3 frente al promedio de acierto de cubos azules en el nivel 1.**

**Hipótesis inicial:** El promedio de acierto de cubos azules nivel 3 es menor o igual al promedio de acierto de cubos azules en el nivel 1.

**Hipótesis alternativa:** El promedio de acierto de cubos azules nivel 3 es mayor al promedio de acierto de cubos azules en el nivel 1.

**Nivel de significancia 5%**

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Cubos Azules Acertados 3</i>	<i>Cubos Azules Acertados 1</i>
Media	77	71.25
Varianza	1216.363636	2247.659091
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.610340913	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	0.523872404	
P(T<=t) una cola	0.305379846	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.610759693	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

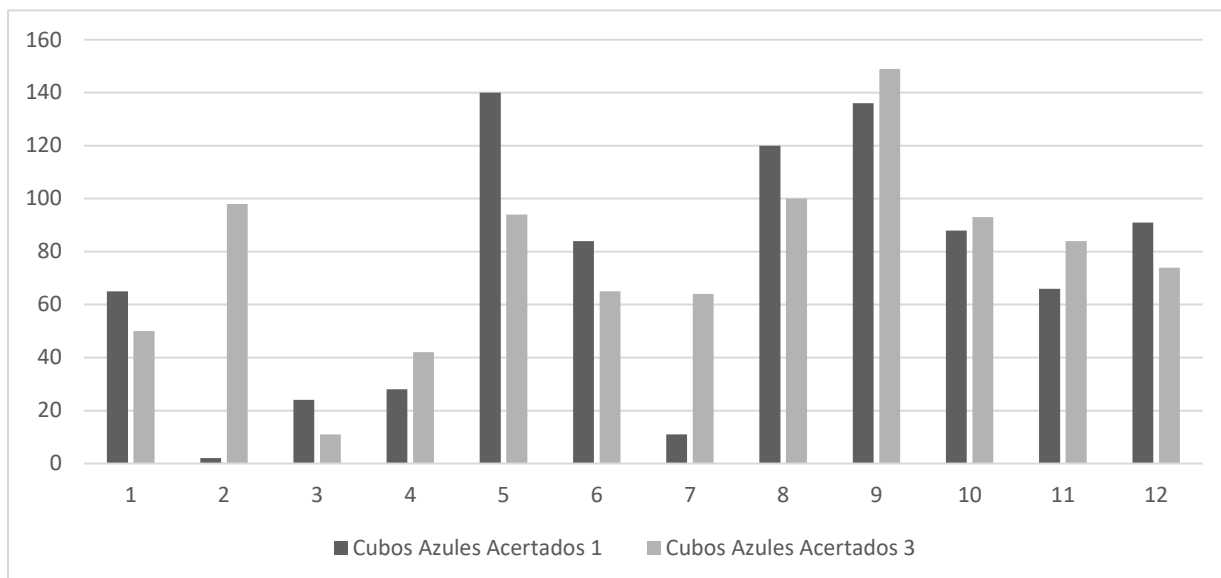
**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis inicial.

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 0,5239, menor al valor crítico 1,7959 ( $0,5239 \leq 1,7959$ ); Se concluye no rechazar la hipótesis inicial. Con un nivel de significancia de 5% no existe evidencia estadística para afirmar que el promedio de acierto de cubos azules nivel 3 es mayor al promedio de acierto de cubos azules en el nivel 1.

Al igual como sucedió con los cubos rojos, se puede observar que comparando la cantidad promedio de cubos azules acertados en el nivel 1 con relación al promedio de cubos azules acertados del nivel 3, no se evidencia diferencia estadística significativa que indique que el participante conforme aumentaba el nivel e intensidad durante la interacción con el ambiente virtual lograra acertar a más cubos azules.



**Figura 67** Gráfica de barras entre Cubos Azules Acertados del Nivel 1 con los Cubos Azules Acertados del Nivel 3



## 7. Discusión

La enfermedad de Alzheimer (EA) es una enfermedad cerebral progresiva y actualmente es una de las causas más comunes de demencia en todo el mundo, así ha sido expresado por diferentes organismos internacionales de salud OMS, OPS, entre otras, [7] . La incidencia de EA aumenta después de los 65 años y es más frecuente en mujeres, existen diferentes factores de riesgo que influyen en el desarrollo de la EA, incluidos la edad, el género, la educación, el nivel socioeconómico, el tabaquismo, el consumo de alcohol, la obesidad, la actividad física, la hipertensión, la diabetes, los traumatismos craneales, los trastornos del sueño y la depresión [36].

Se ha propuesto la combinación de intervenciones farmacológicas y no farmacológicas para manejar la demencia con beneficios potenciales, especialmente en la disminución de la carga y el comportamiento del cuidador, así como los problemas psicológicos de los pacientes con demencia. Recientemente, debido al glorioso desarrollo de las tecnologías digitales, la realidad virtual, una de las intervenciones no farmacológicas, [43] se ha utilizado ampliamente en el manejo de la demencia por sus fortalezas que pueden adaptarse de acuerdo con las necesidades heterogéneas de los pacientes con EA y sus cuidadores. Sin embargo, varios diseños de estudio y otras razones han dificultado la interpretación de estos resultados [45].

Pese a ello, es importante destacar que la tecnología se usa cada vez más y evoluciona en el panorama del cuidado de la demencia. Una de esas tecnologías que ha ganado terreno en la última década es la realidad virtual (VR) [16] la cual se está aplicando en muchas áreas del cuidado de la demencia, incluida la evaluación y el entrenamiento cognitivo, la terapia de reminiscencia, la musicoterapia y otras aplicaciones recreativas de realidad virtual. A pesar de la abundancia de

aplicaciones, a menudo no están moldeadas por las experiencias y percepciones de los adultos mayores que viven con EA.

Actualmente, las terapias para la EA aprobadas brindan beneficios para el alivio de los síntomas en algunas personas, pero no previenen ni mejoran la enfermedad. Una vez que los médicos hacen un diagnóstico clínico de EA en adultos mayores, los adultos a menudo quieren saber qué pueden hacer para retrasar el deterioro cognitivo con tratamientos no farmacológicos. Además, las personas también quieren saber qué pueden hacer para retrasar el inicio o reducir el riesgo de desarrollar EA, como ha sido expresado por varios estudios como los de Fertal'ová, et al. [45].

Por tanto, al resolver la pregunta de investigación que fue orientada hacia ¿Qué tan aceptable y pertinente es el diseño e implementación de tecnología de realidad virtual basado en un ambiente digital inmersivo para el apoyo de procesos de rehabilitación en pacientes con enfermedad de Alzheimer en estadio leve?, los resultados de esta investigación concuerdan con los aporte teóricos sobre la tecnología de realidad virtual (VR), la cual se ha utilizado en la rehabilitación de adultos mayores con afecciones médicas para mejorar su capacidad de realizar actividades de la vida diaria en los últimos años [64].

En el cumplimiento de los objetivos propuestos, a través del diseño de cocreación, se tuvo en cuenta la percepción profesional de médicos y expertos en el tema, puesto que también se ha informado que la tecnología de realidad virtual se usa para personas con deterioro cognitivo leve (DCL), personas con alto riesgo de deterioro cognitivo entre otros. La realidad virtual es una tecnología emergente que crea entornos tridimensionales digitalmente, permite que las personas

interactúen, proporciona información sensorial y realiza un seguimiento del cambio. [42]; [64]; [18].

Dado esto, para el prototipo funcional del ambiente virtual inmersivo, se tuvo en cuenta la teoría sobre la existencia de varios sistemas comerciales de juegos de realidad virtual, como Beat Saber o Box VR, los cuales brindan experiencias de ejercicios simulados y realistas que permiten inducir movimiento a través de estímulos sensoriales audio visuales, evaluando sus implementaciones para visualizar el prototipo a diseñar, generando a partir del juicio de expertos la propuesta propia del ambiente virtual diseñado en el presente estudio y el equipo de apoyo interdisciplinario que tuvo en cuenta la retroalimentación de los pacientes en la mejora del ambiente virtual piloto desarrollado [56].

La retroalimentación en tiempo real, la reflexión del movimiento y las recompensas en un mundo tridimensional para pacientes mayores se brindan para alentar la motivación para adherirse al ejercicio y la voluntad de continuar ejercitándose fueron los elementos tenidos en cuenta a la hora de diseñar las actividades de frecuencia cardíaca y movimiento para el apoyo del proceso de rehabilitación, puesto que autores como De los reyes [46], han sugerido que se requieren de otros tratamientos no farmacológicos que incentiven a los pacientes con EA, a generar impulsos que motiven su rehabilitación.

De igual forma, durante la evaluación de los resultados, el entrenamiento con ejercicios de realidad virtual proporcionó un método aceptable para las personas participantes de la prueba, cada vez los entornos de realidad virtual agregan características espaciales adicionales para mejorar los beneficios cognitivos del ejercicio. Varios estudios también han demostrado que la realidad virtual

puede mejorar el funcionamiento psicológico en pacientes con deterioro cognitivo [11]. En el tratamiento, los adultos mayores que se enfrentan a estímulos visuales y auditivos en la realidad virtual pueden experimentar un aumento de la energía, frecuencias cardíacas y aceptación en el desarrollo de estas actividades como fue evidenciado a lo largo de los ejercicios, permitiendo el disfrute del mismo, la tranquilidad y una disminución de los sentimientos negativos. Además, el ejercicio de VR apoya la toma de decisiones, la regulación emocional y las habilidades de interacción de los adultos mayores para promover beneficios psicológicos, emocionales y sociales [65].

Como se evidenció en el análisis de los datos obtenidos de la frecuencia cardíaca durante la intervención de los participantes con el ambiente virtual desarrollado, se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los niveles 1 y 2 como entre los niveles 1 y 3, corroborando así que el aumento del ritmo con el que los objetos digitales avanzan dentro de cada nivel induce una mayor reacción en ellos y por consiguiente un aumento de su frecuencia cardíaca, y aunque en los resultados de los datos obtenidos del análisis de movimiento de las articulaciones contempladas durante la intervención con el ambiente virtual (hombro Izquierdo, Codo Izquierdo, Hombro Derecho y codo derecho) ninguna de ellas presentó una diferencia estadística relevante para verificar el cambio de movimiento entre los niveles comparados, pero podemos argumentar que ello corresponde a la naturaleza propia de la mecánica de boxeo en la cual los participantes siempre deben volver a una posición inicial después de haber interactuado con los cubos del ambiente virtual haciendo así que el promedio en las variables de movimiento analizadas no cambien de forma significativa.

Finalmente, la tecnología de realidad virtual es un enfoque innovador para la rehabilitación que minimiza los efectos adversos de la EA en las personas, las familias y la sociedad y se ha utilizado en la atención de la salud y la rehabilitación [48]. Los resultados de la investigación actual sobre la tecnología de VR que se utiliza para mejorar la función cognitiva son inconsistentes [10]. Sin embargo, la evidencia actual se informa menos sobre las intervenciones para personas con EA, y se necesita una comprensión integral de los efectos de las intervenciones motoras de VR en personas con EA. Es decir, la descripción general del uso de la realidad virtual en la rehabilitación de la EA en el presente estudio tuvo una aceptación positiva y abre un escenario de posibilidades para sugerir este tipo de tratamientos no farmacológicos en otras alternativas para pacientes con este tipo de deterioro cognitivo.

Además, se valida la importancia de tener en cuenta para futuras investigaciones el incorporar en el desarrollo de soluciones de base tecnológica usando realidad virtual a los usuarios finales, en este caso, los pacientes con EA con los cuales a través de sus consideraciones se pudo mejorar el concepto de solución y el ambiente virtual desarrollado para que fuese usado de forma adecuada y de una manera beneficiosa para su bienestar.

## 8. Conclusiones

Implementar una metodología de Cocreación para desarrollar un ambiente virtual inmersivo con realidad virtual, logró realizar un primer piloto que junto a expertos en psiquiatría, médicos, ingenieros y participantes tratantes permitió ajustar los parámetros técnicos y funcionales para mejorarlo y con ello implementar un ambiente virtual que incentivara el movimiento y con ello el aumento de la frecuencia cardiaca para el apoyo de los procesos de rehabilitación en pacientes con EA en estadio leve.

De esta forma se estableció una solución tecnológica con la que el usuario puede interactuar y a través de la misma lograr generar en los participantes los resultados esperados, puesto que, gracias a su interacción con el ambiente virtual, se pudo identificar que con el uso de la tecnología de realidad virtual en personas mayores se puede mantener y mejorar la función cardiovascular, musculoesquelética y psicosocial. Además, es importante también considerar que para mejorar la metodología aquí planteada sería relevante incluir expertos en experiencia de usuario que nutran con su conocimiento aún más en el proceso de cocreación.

Adicionalmente, para el desarrollo del segundo objetivo, el diseño e implementación del prototipo funcional tuvo en cuenta la caracterización de los parámetros técnicos que se establecieron en la cocreación previa, de allí se establecieron las actividades con base en la necesidad de los usuarios de poder identificar con mayor facilidad los elementos dentro del ambiente virtual, se procedieron a cambiar algunos colores de la composición de escena, el nivel de intensidad de los niveles, la música percibida y se modificó la mecánica de interacción del usuario ya que los participantes se desempeñaban mejor con actividades de golpear en comparación con la mecánica de cortar en lo

correspondiente a buscar el aumento de la frecuencia cardiaca a través de la actividad realizada y el movimiento.

Esta metodología permitió encontrar un punto de favorabilidad hacia el usuario final que hace uso de la tecnología en el proceso de implementación de la solución, lo cual determina en gran medida la aceptación, adherencia y mayor provecho que hagan sobre la misma teniendo presente que una oportunidad de mejora de este objetivo sería el de poder contar con muestras poblacionales de estudio más amplias con las que se puedan concluir con más peso estadístico el valor de los resultados obtenidos.

Para el desarrollo del tercer objetivo, sobre el diseño de un prototipo funcional de un sistema de monitoreo de frecuencia cardiaca y análisis de cantidad de movimiento para los pacientes que hacen uso del ambiente virtual usando IOMT y algoritmos de detección de pose por computadora, se logró la articulación tecnológica entre el ambiente virtual desarrollado con realidad virtual con la plataforma web de alojamiento y seguimiento de información de los participantes con los datos obtenidos en la interacción con el ambiente virtual, además, la retroalimentación de los pacientes después de la intervención con el sistema tecnológico fue favorable y ampliamente aceptada.

Como mejora para el sistema de la plataforma web se podría agregar un Chat-bot que de asistencia a los pacientes y familiares y con el ambiente virtual, agregar una inteligencia artificial que se adapte al usuario en función de la interacción que tiene en el espacio digital.



Para el último objetivo, sobre la evaluación del sistema integral desarrollado en un grupo de pacientes con EA en estadio leve, a través de la Anova de medias emparejadas se evidenció una diferencia estadística significativa entre la frecuencia de los participantes en el nivel inicial comparado con el nivel 2 y el nivel 3, es decir, el hacer uso del ambiente virtual desarrollado permite con una validez estadística significativa de aumentar la frecuencia de los participantes.

También, se analizó la información del movimiento durante la intervención por magnitudes de los vectores de posición entregados por el algoritmo MediaPipe y se promediaron durante cada nivel para tratar de determinar cambios en la variable del codo derecho; pero en ninguno de los niveles se logró evidenciar un cambio en dicha magnitud, esto se interpretó a que debido al tipo de movimientos que se realizan en boxeo, el paciente puede realizar un movimiento y volver a una posición típica, de tal forma que al promediar esta posición típica o inicial predomina y no deja evidencia un cambio de posición significativa entre los niveles del ambiente virtual.

Se aplicó una prueba para verificar el aumento en el número de aciertos durante el ejercicio para lograr determinar si al padecer una enfermedad que afecta el comportamiento del cerebro y por ende la memoria, el paciente recuerda la instrucción a medida que aumentan los niveles de dificultad, dando como resultado que no hay ninguna relación, es decir, que el paciente generalmente acierta el mismo número de veces en cada nivel.

Como resultado, aún se desconoce si las tareas de entrenamiento o estimulación cognitiva VR conducen a mejoras funcionales en la EA, pero sí pueden beneficiar otros síntomas importantes como el estado de ánimo o el bienestar, o facilitan la participación en actividades que brindan otro

beneficio terapéutico. Dichas actividades pueden incluir fisioterapia o rehabilitación de terapia ocupacional que, de otro modo, sería de difícil acceso para los pacientes con este tipo de enfermedad.

## 9. Referencias

- [1] I. Francés, M. Barandiarán, T. Marcellán y L. Moreno, « Estimulación psicocognoscitiva en las demencias.,» *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(3), 383-403. , 2003. [En línea]. Available: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1137-66272003000500007&lng=es&tlng=es..](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272003000500007&lng=es&tlng=es..)
- [2] R. Gutiérrez, «El Alzheimer en Iberoamérica,» Universidad Autónoma Nuevo León, 2020. [En línea]. Available: <https://farmacobiologia.cinvestav.mx/Portals/farmacobiologia/SiteDocs/pdf/El%20Alzheimer%20en%20Iberoam%C3%A9rica.pdf?>
- [3] OMS, «Demencia,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia>.
- [4] OPS, «Demencia,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.paho.org/es/temas/demencia>.
- [5] P. Ortega, «Representaciones de dos cuidadores principales de familiares con enfermedad de Alzheimer con relación a la sobrecarga que experimentan al cuidarlos,» 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/2167/1/2020JessicaPaolaOrtegaRodr%C3%A9guez.pdf>.
- [6] G. Pinilla, J. Vergara, B. Machado, J. Gutiérrez, Z. Cabezas y J. Bejarano, «Estudio de la epidemiología neurológica en Colombia a partir de información partir de información administrativa (ESENCIA). Resultados preliminares 2015-2017.,» 2021. [En línea]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-08072021000100317&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-08072021000100317&lng=es&nrm=iso&tlng=es).
- [7] ONS, «Demencia,» 2020. [En línea]. Available: <http://rssvr2.sispro.gov.co/ObsSaludMental/>.
- [8] UdeA, «Estudio clínico Alzheimer,» 2022. [En línea]. Available: [https://udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia!/ut/p/z0/fYy9DsJADINfhaUjSoBywFgxICEGBoTaLCi0JwhcL\\_25Ih6fFhZYWKzPlm0gSIE8P-TCQdSz631G5rRcraeTJMYdmthgYvbxfdHdzA5HhC3Q\\_0L\\_ILe6pgQoVx\\_sM0BaaRPYdYXICLn9dVct7YcHHXkNkgu3Eb7XXgodWl-xWN9T](https://udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia!/ut/p/z0/fYy9DsJADINfhaUjSoBywFgxICEGBoTaLCi0JwhcL_25Ih6fFhZYWKzPlm0gSIE8P-TCQdSz631G5rRcraeTJMYdmthgYvbxfdHdzA5HhC3Q_0L_ILe6pgQoVx_sM0BaaRPYdYXICLn9dVct7YcHHXkNkgu3Eb7XXgodWl-xWN9T).
- [9] A. Lara, «Estimulación Cognitiva En Adultos Mayores Con DCL,» 2019. [En línea]. Available: <https://revistamedica.com/estimulacion-cognitiva-adultos-mayores-dcl/>.
- [10] J. Angulo, «LA TRANSFORMACION DIGITAL PARA LA CALIDAD DE VIDA EN ADULTOS,» 2021. [En línea]. Available: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/38954/AnguloVillamilJhonnSebastian2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- [11] A. Galvis, D. Sánchez y L. Torres, «Uso de juegos serios y realidad virtual en la evaluación de la memoria espacial para el diagnóstico temprano de Alzheimer: una revisión sistemática,» Universidad de Antioquia, 2022. [En línea]. Available: [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/30193/2/GalvisAna\\_2022\\_MemoriaEspacialAlzheimer.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/30193/2/GalvisAna_2022_MemoriaEspacialAlzheimer.pdf).
- [12] Domínguez, C. y otros. , «Tecnologías y nuevas relaciones del cuidado. Colección Seminario ética y valores del cuidar. N.3,» 2019. [En línea]. Available: [https://issuu.com/coib/docs/tecnolog\\_as\\_y\\_nuevas\\_relaciones\\_en\\_el\\_cuidado](https://issuu.com/coib/docs/tecnolog_as_y_nuevas_relaciones_en_el_cuidado).
- [13] D. Álzate, «Cogniscente: Propuesta de Intervención para el Tratamiento de la Anosognosia en Personas con Enfermedad de Alzheimer en Estadio Leve,» 2021. [En línea]. Available: <https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/5749/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [14] E. F. Y. Fernández y M. Crespo, « Integración de las tecnologías de la información y la comunicación en la intervención neuropsicológica.,» Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud, 2020. [En línea]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2307-21132020000300015](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2307-21132020000300015).
- [15] S. Y. Quintanar L, «Rehabilitación neuropsicológica. Historia, teoría y práctica. México:» Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; , pp. 156-251, 2016.
- [16] E. F. J. Díaz, «Realidad Virtual y Demencia,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.svnps.org/documentos/rv-alzheimer.pdf>.
- [17] OMS, «Global report on assistive technology,» 2022. [En línea]. Available: [file:///D:/user/Downloads/9789240049451-eng%20\(1\).pdf](file:///D:/user/Downloads/9789240049451-eng%20(1).pdf).
- [18] S. Pineda, «La Tecnología De La Información Y Comunicación (Tic) Como Herramienta Para El Entrenamiento Cognitivo En La Vejez.,» 2022. [En línea]. Available: <https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/6252/TRABAJO%20DE%20GRADO%20LA%20TECNOLOGIA%20DE%20LA%20INFORMACI%C3%93N%20Y%20COMUNICACI%C3%93N%20PINEDA%20SARA%202022-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [19] E. Díaz y J. Flórez, «Realidad virtual y demencia.,» Rev Neurol 2018;66 (10):344-352, 2018. [En línea]. Available: <https://neurologia.com/articulo/2017438/esp>.
- [20] F. Basile y R. .. E. F. E. J. A. V. & S. S. (. Marioto, «Inclusión digital para adultos mayores en la comunidad de Pirituba-SP. Experiencia en implementación de cursos de extensión gratis,» Educación profesional y tecnológica - Extensión y cultura (pp. 145-164)., 2018. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/4762/476268269011/html/#B18>.
- [21] AETSA, «Entrenamiento Cognitivo,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.aetsa.org/download/publicaciones/EntrenamientoCognitivo\\_062020\\_DEF\\_.pdf](https://www.aetsa.org/download/publicaciones/EntrenamientoCognitivo_062020_DEF_.pdf).
- [22] Y. Zhao, J. Yu, J. Liu, Z. Chen, W. Xiang, S. Zhu, Y. Qian, R. Wang, J. Mao, Z. Feng, B. Liu y J. Li, «Cognitive rehabilitation via head-mounted virtual reality technology in patients with

Alzheimer's disease: A systematic review.,» Digit Med [serial online] 2022, 2022. [En línea]. Available: <http://www.digitmedicine.com/text.asp?2022/8/1/5/340805>.

[23] N. D’Cunha, D. Nguyen, N. Naumovski, A. McKune, J. Kellett, E. Georgousopoulou, J. Frost y S. Isbel, «A Mini-Review of Virtual Reality-Based Interventions to Promote Well-Being for People Living with Dementia and Mild Cognitive Impairment.,» Gerontology 2019, 2019. [En línea]. Available: <https://www.karger.com/Article/FullText/500040#>.

[24] F. Escobar, A. Flórez, M. Estrada y A. Agudelo, «Panorama de las intervenciones psicológicas virtuales en Hispanoamérica y España antes de la pandemia COVID-19. Revisión documental.,» Revista Virtual Universidad Católica del Norte, (67), 217-248., 2022. [En línea]. Available: <https://www.doi.org/10.35575/rvucn.n67a9>.

[25] Academia Nacional de Medicina de Colombia, «INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) Y TRANSFORMACION DEL SISTEMA DE SALUD,» 2021. [En línea]. Available: <https://anmdecolombia.org.co/inteligencia-artificial-ia-y-transformacion-del-sistema-de-salud/>.

[26] N. Gates, R. Vernooij, M. Di Nisio, S. Karim, E. March, G. Martínez y A. Rutjes, «Entrenamiento cognitivo computarizado para la prevención de la demencia en personas con deterioro cognitivo leve,» Cochrane Database Syst Rev, 2019. [En línea]. Available: doi: 10.1002/14651858.CD012279.pub2. <http://europepmc.org/abstract/MED/30864747..>

[27] L. Mertz, «Pionero de la realidad virtual Tom Furness sobre el pasado, el presente y el futuro de la realidad virtual en el cuidado de la salud.,» Pulso IEEE. 2019;10(3):9–11. , 2019. [En línea]. Available: doi: 10.1109/MPULS.2019.2911808..

[28] R. García, T. Arredondo, G. Fico y M. Cabrera, «Una breve descripción del uso de la tecnología de realidad virtual en la enfermedad de Alzheimer.,» Neurociencia del envejecimiento frontal. 2015;7:80., 2015. [En línea]. Available: doi: 10.3389/fnagi.2015.00080..

[29] M. Rus, P. Garety, E. Sason, T. Craig y a. y. e. Valmaggia LR. Realidad virtual en la evaluación y tratamiento de la psicosis: una revisión sistemática de su utilidad, «Virtual reality in the assessment and treatment of psychosis: a systematic review of its utility, acceptability and effectiveness.,» Psychol Med. 2018 Feb;48(3):362–391. , 2018. [En línea]. Available: doi: 10.1017/S00332917170019.

[30] M. Eisapour, S. Chao y L. Domenicucci, «Diseño Participativo de un Ejercicio de Realidad Virtual para Personas con Deterioro Cognitivo Leve,» 2018. [En línea]. Available: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3170427.3174362>.

[31] P. Gamito, J. Oliveira, D. Morais, C. S. N. A. C. G. A. Coelho, M. Soeiro, M. Yerra, H. French, L. Talmers, T. Gomes y R. Brito, «Cognitive Stimulation of Elderly Individuals with Instrumental Virtual Reality-Based Activities of Daily Life: Pre-Post Treat,» Cyberpsychol Behav Soc Netw. (1):69-75., nº doi: 10.1089/cyber.2017.0679. Epub 2018 Jul 24. PMID: 30040477., 2019.

[32] S. Mrakic, S. Di Santo, F. Franchini, S. Arlati, A. Zangiacomi, L. Greci, S. Moretti, N. Jesuthasan, M. Marzorati, G. Rizzo, M. Sacco y A. Vezzoli, «Effects of Combined Physical and

Cognitive Virtual Reality-Based Training on Cognitive Impairment and Oxidative in MCI Patients: A Pilot Study.,» *Front Aging Neurosci.* 2018 Oct 1;10:282., 2018. [En línea]. Available: doi: 10.3389/fnagi.2018.00282. .

[33] L. Zając, M. Wiłkość-Dębczyńska, A. Wojciechowski, M. Podhorecka, A. Polak, Ł. Warchoń, K. Kędziora, A. Araszkiwicz y P. Izdebski, «Effects of virtual reality-based cognitive training in older adults living without and with mild dementia: a pretest- posttest design pilot study.,» *BMC Res Notes.* 2019 Nov 27;12(1):776. , 2019. [En línea]. Available: doi: 10.1186/s13104-019-4810-2. .

[34] C. Hsieh, P. Lin, W. Hsu, J. Wang, Y. Huang, A. Lim y. Hsu, «The Effectiveness of a Virtual Reality-Based Tai Chi Exercise on Cognitive and Physical Function in Older Adults with Cognitive Impairment.,» *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2018;46(5-6):358-370., 2018. [En línea]. Available: doi: 10.1159/000494659. .

[35] NIA, «¿Qué le sucede al cerebro en la enfermedad de alzheimer?,» Instituto Nacional sobre el Envejecimiento, 2017. [En línea]. Available: <https://www.nia.nih.gov/health/what-happens-brain-alzheimers-disease>.

[36] Alzheimer's association., «Technology's Evolving and Expanding Role in Dementia Care, Prevention and Alleviating Burden[Press release]. Amsterdam, Netherlands.,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.alz.org/aaic/releases\\_2019/sunTECHNOLOGY-jul14.asp](https://www.alz.org/aaic/releases_2019/sunTECHNOLOGY-jul14.asp).

[37] J. Van Hoof, G. Demiris y E. Wouters, «Handbook of Smart Homes, Health Care and Well-Being.,» Springer International Publishing. , 2017. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-01583-5>.

[38] L. Bessey y A. Walaszek, « Management of behavioral and psychological symptoms of dementia.,» *Curr Psychiatry Rep.* 2019;21(8):66., 2019. [En línea]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11920-019-1049-5>.

[39] O. Tible, F. Riese, E. Savaskan y A. von Gunten, «Best practice in the management of behavioural and psychological symptoms of dementia.,» *Ther Adv Neurol Disord.* 2017;10(8):297–309., 2017. [En línea]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1756285617712979>.

[40] E. Oh y A. Lee, «Mild cognitive impairment.,» *Korean Neurol. Assoc.* 3, 167–175., 2016. [En línea]. Available: doi: 10.17340/jkna.2016.3.1.

[41] E. Park, B. Yun, Y. Min, Y. Lee, S. Moon y J. Huh, « Effects of a mixed reality-based cognitive training system compared to a conventional computer-assisted cognitive training system on mild cognitive impairment: a pilot,» *Cogn. Behav. Neurol.* 32, 172–178. , 2019. [En línea]. Available: doi: 10.1097/WNN.0000000000000197.

[42] W. Choi y S. Lee, «The effects of virtual kayak paddling exercise on postural balance, muscle performance, and cognitive function in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial do,» *J. Aging Phys. Act.* 27, 861–870., 2019. [En línea]. Available: doi: 10.1123/japa.2018-0020.

- [43] J. Hwang y S. Lee, «The effect of virtual reality program on the cognitive function and balance of the people with mild cognitive impairment.,» *J. Phys. Therap. Sci.* 29, 1283–1286., 2017. [En línea]. Available: doi: 10.1589/jpts.29.1283.
- [44] N. Herrmann, T. Harimoto, R. Balshaw y K. Lanctôt, «Risk Factors for Progression of Alzheimer Disease in a Canadian Population: The Canadian Outcomes Study in Dementia (COSID),» 2015. [En línea]. Available: <http://search.proquest.com/docview/1674234502/B5AB>.
- [45] T. Fertařová, I. Ondřiová y L. Hadařová, «Opciones de tratamiento de la enfermedad de alzheimer.,» *Česká a slovenská psychiatrie.* 2017;113(3):119-122. , 2017. [En línea]. Available: DOI: 1212-0383.
- [46] C. De Los Reyes Aragon, «Rehabilitación Cognitiva en pacientes con Enfermedad de Alzheimer.,» *Psicol. caribe [online].* 2012, vol.29, n.2, pp.421-455. , 2013. [En línea]. Available: ISSN 0123- 417X..
- [47] J. Gates, R. Vernooij, M. Di Nisio, S. Karim, E. March, G. Martínez y A. Rutjes, «Computerised cognitive training for preventing dementia in people with mild cognitive impairment.,» *Cochrane Database Syst Rev.* 2019 Mar 13;3:, 2019. [En línea]. Available: doi: 10.1002/14651858.CD012279.pub2..
- [48] Y. Liao, I. Chen, Y. Lin, Y. Chen y W. Hsu, «Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment:a randomized control trial,» *Front Aging Neurosci.* 11 (2019), p. 162, , 2019. [En línea]. Available: 10.3389/fnagi.2019.00162.
- [49] S. Jerdan, M. Grindle, H. Van Woerden y M. Kamel Boulos, «Head-mounted virtual reality and mental health: Critical review of current research.,» *JIMR publications* Published on 6.7.2018 in Vol 6 , No 3 (2018) :Jul-Sep, 2018. [En línea]. Available: <https://games.jmir.org/2018/3/e14>.
- [50] T. Zhang, R. Booth, R. Jean-Louis, R. Chan, A. Yeung, D. Gratzler y G. Strudwick, «A Primer on Usability Assessment Approaches for Health-Related Applications of Virtual Reality.,» *JMIR Serious Games* 2020, 8, e18153, 2020. [En línea]. Available: <https://games.jmir.org/2020/4/e18153>.
- [51] VRHealth, «What is the VR Health Institute?,» 2022. [En línea]. Available: <https://vrhealth.institute/>.
- [52] CDC, «Physical Activity Facts,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.cdc.gov/healthyschools/physicalactivity/facts.htm>.
- [53] OIT, «SEGURIDAD Y SALUD,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms\\_686762.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/publication/wcms_686762.pdf).
- [54] J. Rubí y P. Gondim, «IoMT Platform for Pervasive Healthcare Data Aggregation, Processing, and Sharing Based on OneM2M and OpenEHR.,» *Sensors.* 19. 4283. , 2019. [En línea]. Available: 10.3390/s19194283. .

- [55] A. Ghubaish, T. Salman, D. Ünal, A. Al-Ali y R. Jain, «Recent Advances in the Internet of Medical Things (IoMT) Systems Security.,» IEEE Internet of Things Journal. PP. , 2020. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/IoMT-system-architecture\\_fig1\\_347489306](https://www.researchgate.net/figure/IoMT-system-architecture_fig1_347489306).
- [56] H. Hee-Cheol, «Acceptability engineering: the study of user acceptance of innovative technologies.,» Journal of applied research and technology, 13(2), 230-237., 2015. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/279314089\\_Acceptability\\_Engineering\\_the\\_Study\\_of\\_user\\_Acceptance\\_of\\_Innovative\\_Technologies](https://www.researchgate.net/publication/279314089_Acceptability_Engineering_the_Study_of_user_Acceptance_of_Innovative_Technologies).
- [57] Biodesign, «BIODESIGN INNOVATION PROCESS,» 2020. [En línea]. Available: <https://biodesign.stanford.edu/about-us/process.html>.
- [58] Min Salud, «Decreto 681,» 2022. [En línea]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Decreto%20No.%20681%20de%202022.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Decreto%20No.%20681%20de%202022.pdf).
- [59] Min Salud, «RESOLUCIÓN NÚMERO 1035 DE 2022,» 2022a. [En línea]. Available: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%201035%20de%202022.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%20No.%201035%20de%202022.pdf).
- [60] A. Staton, «VR Health Institute,» 2022. [En línea]. Available: <https://vrhealth.institute/>.
- [61] Polar H10, «Manual Guia,» 2018. [En línea]. Available: [https://support.polar.com/e\\_manuals/h10-heart-rate-sensor/polar-h10-user-manual-espanol/manual.pdf](https://support.polar.com/e_manuals/h10-heart-rate-sensor/polar-h10-user-manual-espanol/manual.pdf).
- [62] M. Schaffarczyk, B. Rogers, R. Reer y T. Gronwald, «Validity of the Polar H10 Sensor for Heart Rate Variability Analysis during Resting State and Incremental Exercise in Recreational Men and Women,» Sensors (Basel). , 2022. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9459793/>.
- [63] J. Rojas, «Implementación de un sistema web para la captura y análisis de movimiento en enfermedades neurodegenerativas en entornos de terapia soportados por tic,» 2022. [En línea]. Available: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/31957>.
- [64] N. L. L. Cibeira, A. L. R. Maseda, P. Moreno y J. Millán, «Realidad virtual como herramienta de prevención, diagnóstico y tratamiento del deterioro cognitivo en personas mayores: revisión sistemática.,» Rev Neurol 2020; 71: 205-12. doi: 10.33588/rn.7106.2020258., 2020. [En línea]. Available: <https://www.svnps.org/wp-content/uploads/2020/11/by060205.pdf>.
- [65] L. Mertz, «Virtual Reality Pioneer Tom Furness on the Past, Present, and Future of VR in Health Care.,» IEEE Pulse. 2019;10(3):9–11. , 2019. [En línea]. Available: doi: 10.1109/MPULS.2019.2911808..



- [66] R. García, M. Arredondo, G. Fico y M. Cabrera, «A succinct overview of virtual reality technology use in Alzheimer's disease.» *Front Aging Neurosci.* 2015;7:80. , 2015. [En línea]. Available: doi: 10.3389/fnagi.2015.00080. doi: 10.3389/fnagi.2015.00080. .
- [67] M. Rus, P. Garety, E. Sason, T. Craig y L. Valmaggia, «Realidad virtual en la evaluación y tratamiento de la psicosis: una revisión sistemática de su utilidad, aceptabilidad y eficacia.» *Psicología Med.* febrero de 2018; 48(3):362–391. , 2018. [En línea]. Available: doi: 10.1017/S00.
- [68] C. Tuena, E. Pedroli, P. Trimarchi, A. Gallucci, M. Chiappini y K. G. A. R. G. L. F. G. F. S.-B. M. Goulene, «Usability Issues of Clinical and Research Applications of Virtual Reality in Older People: A Systematic Review.» *Front Hum Neurosci.* 2020;14:93. , 2020. [En línea]. Available: doi: 10.3389/fnhum.2020.00093. doi: 10.3389/fnhum.2020.00093..
- [69] M. Sayma, R. Tuijt, C. Cooper y K. Walters, « ¿Ya llegamos? Realidad virtual inmersiva para mejorar la función cognitiva en demencia y deterioro cognitivo leve.» *gerontólogo.* 15 de septiembre de 2020;60(7):e502–e512., 2020. [En línea]. Available: doi: 10.1093/geront/gnz132.5585509 .
- [70] F. Al Turjma, M. Nawaz y D. Uluşar, «Intelligence in the internte of medical things era: A sistematic review of current and future trends.» *computer Communications* 150 pag 644-660, 2020. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.12.030>.
- [71] U. Khan, A. Ali, S. Khan, F. Aadil, M. Durrani, K. Muhammad y J. W. Lee, «Internet of Medical Things–based decision system for automated classification of Alzheimer’s using three-dimensional views of magnetic resonance imaging scans.» *International Journal of* , 2019. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1177/15501477198311876>.
- [72] G. L. Herr, «Biodesign: The Process of Innovating Medical Technologies.» *Biomedical Instrumentation & Technology*, 44(5), 388–388., 2015. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.2345/0899-8205-44.5.388>.
- [73] J. Rojas, «Ambientes Virtuales.» 2019. [En línea]. Available: <https://es.calameo.com/books/00551417601970417ad7b>.
- [74] P. Oja, S. Titze, S. Kokko, U. Kujala, A. Heinonen, P. Kelly, P. Koski y C. Foster, «Health benefits of different sport disciplines for adults: Systematic review of observational and intervention studies with meta-analysis.» *Br. J. Sports Med.* 2015., 2015. [En línea]. Available: <https://bjsm.bmj.com/content/49/7/434.short>.
- [75] P. Matsuda, A. Shumway-Cook y M. Ciol, «The effects of a home-based exercise program on physical function in frail older adults.» *J. Geriatr. Phys. Ther.* 2010, , nº 33, p. 78–84., 2010.

## Anexos

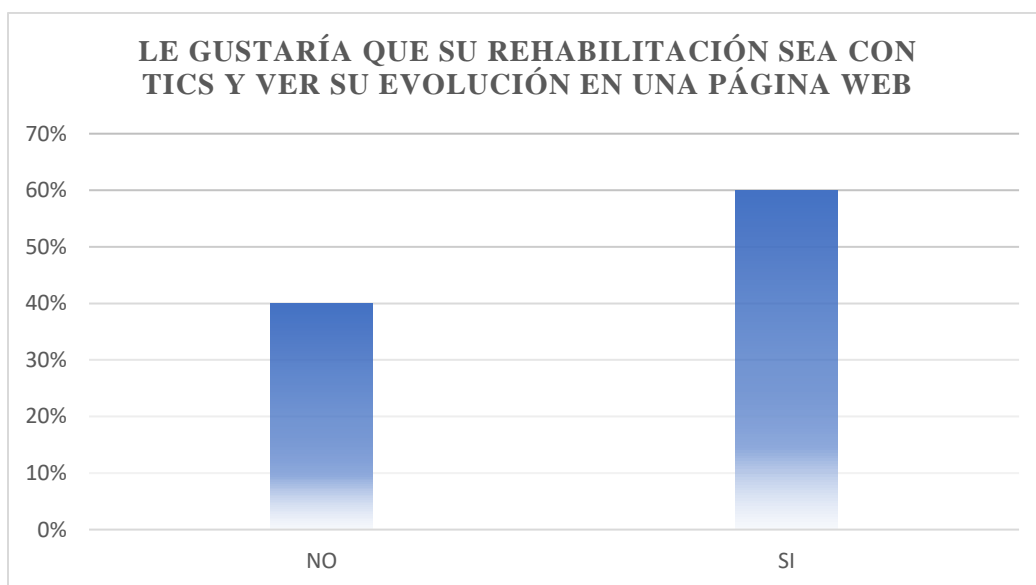
### ANEXO A METODOLOGÍA CONSTRUCCIÓN COCREACIÓN – ENCUESTA PERTINENCIA DE LA HERRAMIENTA CON USUARIOS.

Para el desarrollo de este objetivo, se realizaron preguntas a los 15 participantes de la intervención para validar en ellos su disposición al uso de la tecnología y aceptación de esta para realizar la intervención con realidad virtual.

#### Aceptación de participantes con el uso de TICs y Realidad Virtual

Desearían usar la tecnología como apoyo en el proceso de rehabilitación de su enfermedad y se puede observar cómo el 40% de los pacientes no se les dificulta el uso de la tecnología y al 60% restante si, sin embargo, independientemente de saberla o no utilizar desearían ver su evolución en una página web además de aceptar el uso de la tecnología de realidad virtual como ayuda al tratamiento de rehabilitación cognitiva desde sus casas.

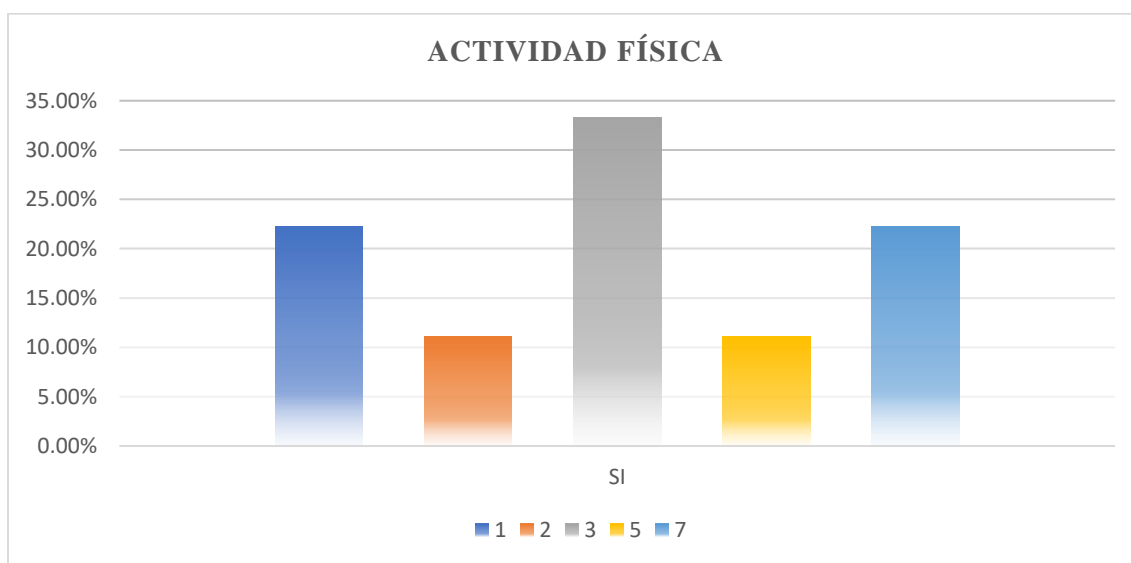
**Figura 68** Aceptación de participantes con el uso de TICs y Realidad virtual para el manejo de la EA



### Actividad física en participantes

Se les preguntó a los participantes si realizan actividad física. Encontrando que del total de pacientes un 40% no realizan ningún tipo de actividad física y de los que sí la realizan un 33.3% lo hace tres veces por semana, de una a siete veces por semana un 22.2% respectivamente y de 2 a cinco veces por semana, un 11.1% como se muestra en la figura 69, por lo que hace aún más sentido el uso de la tecnología de realidad virtual con un enfoque de inducir en ellos movimiento y aumentar su frecuencia cardiaca.

**Figura 69** Actividad física en participantes de la intervención



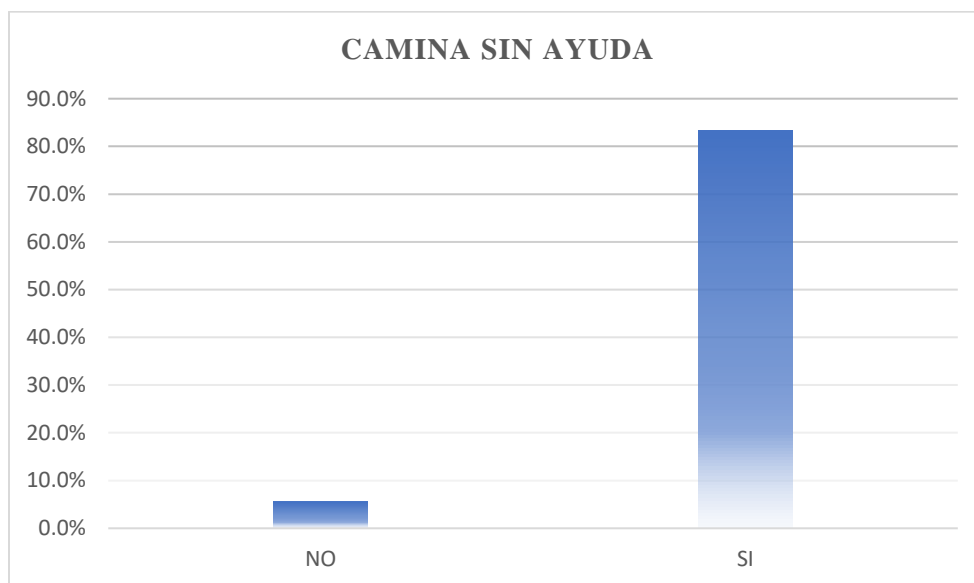
### Problemas a nivel motor y capacidad de realizar actividades de la vida diaria (ADLs)

Se les preguntó a los participantes si contaban con algún problema a nivel motor o capacidad para realizar actividades de la vida diaria con lo cual se obtuvo que el 5,6% de los pacientes necesita ayuda para caminar durante más de 10 minutos y el 94,4% lo hace sin ayuda.

De quienes caminan sin necesidad de ayuda un 11.1% pueden realizar actividades de la vida diaria a pesar de que tienen problemas a nivel motor y el 83,3% de quienes caminan sin necesidad de asistencia pueden fácilmente realizar sus actividades de la vida diaria ya que no cuentan con problemas a nivel motor.

Lo que los hace aptos para poder realizar la intervención con la tecnología de realidad y el ambiente virtual inmersivo.

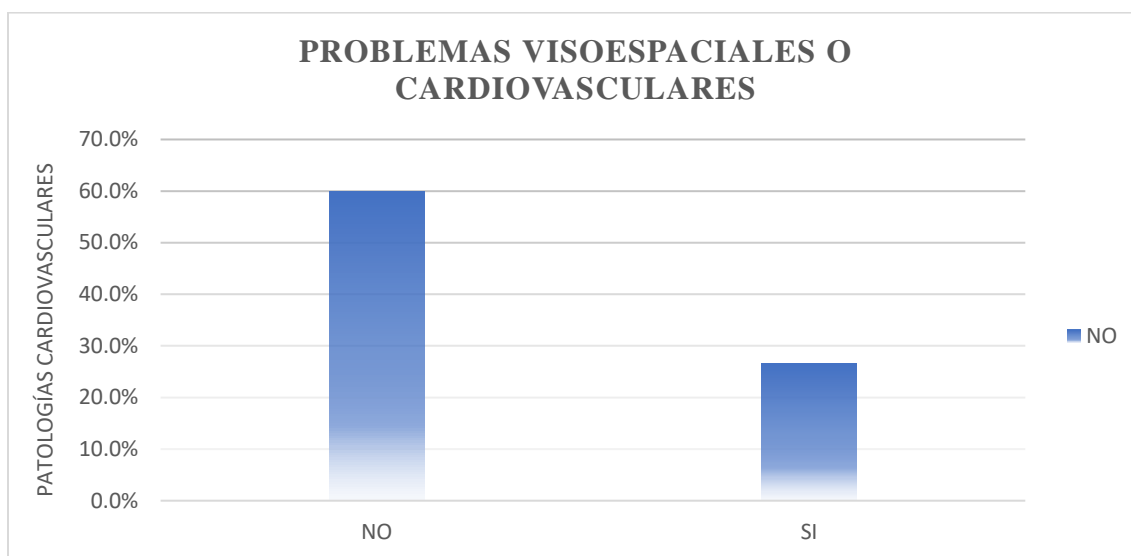
**Figura 70** *Problemas a nivel motor y capacidad de realizar ADLs en participantes de la intervención*



### **Problemas visoespaciales o cardiovasculares**

Se les preguntó a los participantes con relación a los problemas visoespaciales o cardiovasculares y se analizó que generalmente los pacientes no tienen patologías cardiovasculares. Un total de 86,7% de los pacientes, de estos el 60% tampoco presenta problemas visoespaciales. De quienes si tienen problemas cardiovasculares el 6,7% también tiene problemas visoespaciales y el mismo 6,7% no los tiene.

**Figura 71** Problemas visoespaciales o cardiovasculares en participantes de la intervención



## ANEXO B CÓDIGOS DE LA PROGRAMACIÓN DEL AMBIENTE VIRTUAL INMERSIVO DE REALIDAD VIRTUAL

### Programación de Generación de Cubos rojos y Azules

Se instancian los cubos enemigos que avanzan hacia la ubicación del participante los cuales debe de eliminar como se muestra en el script de la figura 72. Estos cubos se generan de forma aleatoria como se indica en la línea 19.

**Figura 72** Script de Creación de Cubos Rojos y Cubos Azules

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  public class Spawner : MonoBehaviour
6  {
7
8      public GameObject[] cubes;
9      public Transform[] points;
10     public float beat = (60/175)*2;
11     public float timer;
12
13
14     // Update is called once per frame
15     void Update()
16     {
17         if (timer>beat)
18         {
19             GameObject cube = Instantiate(cubes[Random.Range(0, 2)], points[Random.Range(0, 4)]);
20             cube.transform.localPosition = Vector3.zero;
21             cube.transform.Rotate(transform.forward, 90 * Random.Range(0, 4));
22             timer -= beat;
23
24         }
25
26         timer += Time.deltaTime;
27     }
28 }
29

```

Para cada nivel se genera una cantidad finita de cubos la cual se muestra en la siguiente tabla 16

**Tabla 17** Cantidad de cubos generados por nivel

Nivel	Total Cubos Generados	Rojos	Azules
Nivel 1	404	202	202
Nivel 2	380	190	190
Nivel 3	380	190	190

### Programación del contador de cubos acertados en cada nivel del ambiente virtual

En la figura 73 se muestra el Script que controla el contador de cubos Azules rojos y azules acertados correctamente.

**Figura 73** Script de Creación de Cubos Rojos y Cubos Azules acertados correctamente en cada nivel del ambiente virtual

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  Script de Unity (1 referencia de recurso) | 2 referencias
6  public class CubesCount : MonoBehaviour
7  {
8      public static int cubos_rojos_nivel1 = 0;
9      public static int cubos_azules_nivel1 = 0;
10
11  Mensaje de Unity | 0 referencias
12  void OnTriggerEnter(Collider other)
13  {
14      if (other.GetComponent<EnemyBlue_ref>() != null)
15      {
16          cubos_azules_nivel1++;
17          Debug.Log("Cubos Azules: " + cubos_azules_nivel1);
18      }
19
20      if (other.GetComponent<EnemyRed_ref>() != null)
21      {
22          cubos_rojos_nivel1++;
23          Debug.Log("Cubos Rojos: " + cubos_rojos_nivel1);
24      }
25  }
26  }
27

```

## Programación del contador de cubos No acertados en cada nivel del ambiente virtual

En la figura 74 se puede observar el Script que controla el contador de cubos Azules rojos y azules que no son acertados correctamente por el participante

**Figura 74** Script de control de los cubos rojos y azules No acertados en Remember VR

```

45 void OnTriggerEnter(Collider other)
46 {
47     if (other.GetComponent<EnemyBlue_ref>() != null)
48     {
49         cubos_azules_no_acertados_nivel1++;
50         Debug.Log("Cubos Azules no destruidos son: " + cubos_azules_no_acertados_nivel1);
51         ErrorCubosAzules.text = "" + (cubos_azules_no_acertados_nivel1 - int.Parse(CubosAzules.text));
52     }
53
54     if (other.GetComponent<EnemyRed_ref>() != null)
55     {
56         cubos_rojos_no_acertados_nivel1++;
57         Debug.Log("Cubos Rojos no destruidos son: " + cubos_rojos_no_acertados_nivel1);
58         ErrorCubosRojos.text = "" + (cubos_rojos_no_acertados_nivel1 - int.Parse(CubosRojos.text));
59     }
60 }
61
62 void OnTriggerExit(Collider other)
63 {
64     if (other.GetComponent<EnemyBlue_ref>() != null || other.GetComponent<EnemyRed_ref>() != null)
65     {
66         Destroy(other.gameObject);
67     }
68 }
69
70
71
72

```

## Programación del cambio de nivel entre niveles en el ambiente virtual Remember VR

En la figura 75 se puede observar el Script que controla el cambio de nivel de cada escena del ambiente virtual Remember VR



**Figura 75** Cambio de Nivel

```

1 using System.Collections;
2 using System.Collections.Generic;
3 using UnityEngine;
4 using UnityEngine.SceneManagement;
5 using UnityEngine.UI;
6
7
8 Script de Unity (1 referencia de recurso) | 6 referencias
9 public class CollisionEnter : MonoBehaviour
10 {
11     public GameObject ManagerPostGO;
12     public MainScript_one ManagerPostScript;
13     public GameObject ManagerSoundGO;
14     public AudioSource SoundWorld;
15
16     public static int cubos_rojos_no_acertados_nivel1 = 0;
17     public static int cubos_azules_no_acertados_nivel1 = 0;
18
19     public Text ErrorCubosRojos;
20     public Text ErrorCubosAzules;
21
22     public Text CubosRojos;
23     public Text CubosAzules;
24
25
26
27 Mensaje de Unity | 0 referencias
28 private void Start()
29 {
30     ManagerPostGO = GameObject.Find("RestController");
31     ManagerPostScript = ManagerPostGO.GetComponent<MainScript_one>();
32     ManagerSoundGO = GameObject.Find("ManagerSound");
33     SoundWorld = ManagerSoundGO.GetComponent<AudioSource>();
34     SoundWorld.Play();
35     Invoke("AudioFinished", SoundWorld.clip.length);
36 }
37
38 0 referencias
39 public void AudioFinished()
40 {
41     SceneManager.LoadScene("Nivel2");
42     ManagerPostScript.Post();
43 }

```

## Programación del envío de información a la plataforma web de Remember VR

El Script de la programación necesaria para realizar la petición HTTP Post a la plataforma web de Remember VR donde se alojan los datos del usuario, tanto de sus frecuencias cardiacas como del número de aciertos de cubos rojos y azules, por cada nivel como se muestra en las siguientes figuras 76 y 77.

Figura 76 Post a la plataforma web de Remember VR

```

1  using System.Collections;
2  using System.Collections.Generic;
3  using UnityEngine;
4
5  Script de Unity (1 referencia de recurso) | 2 referencias
6  public class CubesCount : MonoBehaviour
7  {
8      public static int cubos_rojos_nivel1 = 0;
9      public static int cubos_azules_nivel1 = 0;
10
11     Mensaje de Unity | 0 referencias
12     void OnTriggerEnter(Collider other)
13     {
14         if (other.GetComponent<EnemyBlue_ref>() != null)
15         {
16             cubos_azules_nivel1++;
17             Debug.Log("Cubos Azules: " + cubos_azules_nivel1);
18         }
19
20         if (other.GetComponent<EnemyRed_ref>() != null)
21         {
22             cubos_rojos_nivel1++;
23             Debug.Log("Cubos Rojos: " + cubos_rojos_nivel1);
24         }
25     }
26 }
27

```

Figura 77 Continuación del Script del Post a la plataforma web de Remember VR

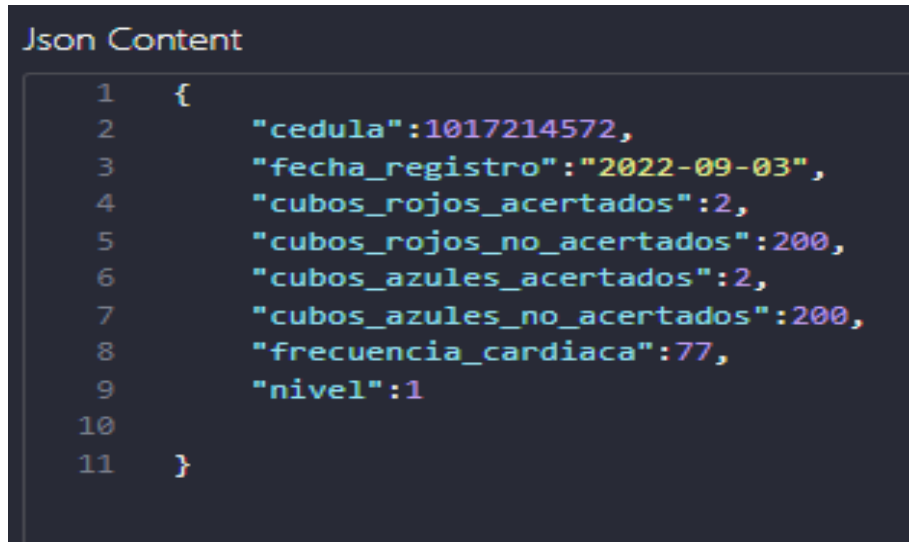
```

36     InputFieldCedula.Cedula = PlayerPrefs.GetInt(InputFieldCedula.CedulaPrefsName, 0);
37 }
38
39 1 referencia
40 public void Post()
41 {
42     currentRequest = new RequestHelper
43     {
44         Uri = basePath,
45         Body = new Post
46         {
47             cedula = InputFieldCedula.Cedula,
48             cubos_rojos_acertados = int.Parse(textRojo.text),
49             cubos_rojos_no_acertados = CollisionEnter.cubos_rojos_no_acertados_nivel1 - int.Parse(textRojo.text),
50             cubos_azules_acertados = int.Parse(textAzul.text),
51             cubos_azules_no_acertados = CollisionEnter.cubos_azules_no_acertados_nivel1 - int.Parse(textAzul.text) ,
52             nivel = 1,
53             fecha_registro = DatePickerControl.DateGlobal.Year.ToString() + "-" + DatePickerControl.DateGlobal.Month.ToString() + "-" + DatePickerControl.DateGlobal.Day.ToString(),
54             EnableDebug = true
55         };
56     };
57     RestClient.Post<Post>(currentRequest)
58     .Then(res => {
59         // And later we can clear the default query string params for all requests
60         RestClient.ClearDefaultParams();
61         this.LogMessage("Success", JsonUtility.ToJson(res, true));
62     })
63     .Catch(err => this.LogMessage("Error", err.Message));
64 }
65
66 }
67
68 }
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78

```

En cada escena del ambiente virtual se encuentra este Script, en la que al final de cada nivel se envía al ambiente virtual los datos adquiridos del paciente durante ese espacio de interacción. En la figura 78 se muestra cómo se enviaría un paquete consolidado de la información enviada a la plataforma web.

**Figura 78** Contenido Json de la información enviada a la plataforma web de Remember VR



```

1  {
2      "cedula":1017214572,
3      "fecha_registro":"2022-09-03",
4      "cubos_rojos_acertados":2,
5      "cubos_rojos_no_acertados":200,
6      "cubos_azules_acertados":2,
7      "cubos_azules_no_acertados":200,
8      "frecuencia_cardiaca":77,
9      "nivel":1
10 }
11

```

### Programación dispositivo frecuencia cardiaca desarrollado

El microcontrolador del dispositivo de frecuencia cardiaca desarrollado se programó con el siguiente código.

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
SoftwareSerial blue(2, 3); //Crea conexion al bluetooth - PIN 2 a TX y PIN 3 a RX
//bluetooth hc-06
int ledPin = 13; // usamos un pin de salida al LED
int state = 0; // Variable lectura serial

void setup() {
    pinMode(ledPin, OUTPUT); //Declara pin de Salida
    digitalWrite(ledPin, LOW); //Normalmente Apagado
    Serial.begin(9600); // inicio comunicación serial del computador para hacer seguimiento de los valores
del sensor
    blue.begin(9600);
    Wire.begin();
    Serial.println(" Terminé Configuración inicial"); // Mensaje de Control
}

void loop() {

    if(blue.available(>0){
        Serial.println("Comunicación BT Existente");
    }
}

```

```

// blue.write("Hola Unity... Is this Amazing isn't ?");
state = blue.read(); //si el módulo a manda dato, guardarlo en estado.
// Convertir dato que llega en decima a int
// int NewState = state.toInt();
int NewState = String(state).toInt();
Serial.println(NewState);
if(NewState==85)
{
digitalWrite(ledPin, HIGH);
Serial.println("LED: on");
Serial.println("DatoEnviado BT:");
String dato="HolaUnity";
Serial.println(dato);
blue.write('dato');
//blue.flush();
delay(100);
HeartRate();
}
// esta parte del código es para solo 1 Carácter o Unidad.
else if (NewState==0){
digitalWrite(ledPin, LOW);
Serial.println("LED: off");
}
}
}
void HeartRate(){
//////// Adquisición Dato Ritmo Cardiaco
Wire.requestFrom(0xA0 >> 1, 1); // request 1 bytes from slave device
if(Wire.available()>0){
while(Wire.available()) { // slave may send less than requested
unsigned char c = Wire.read(); // receive heart rate value (a byte)
int convertido = String(c).toInt();
blue.write(convertido); // print heart rate value
Serial.println(convertido);
}
delay(2000);
} else{
blue.write("No ADQ");
}
}
}

```

## ANEXO C PRUEBAS DE HIPÓTESIS T EN VARIABLES DE FRECUENCIAS CARDIACAS

**Frecuencia Inicial:** Corresponde a la frecuencia exacta que reporta el paciente en el instante inicial de cada nivel.

**Promedio nivel:** Corresponde a la frecuencia cardiaca promediada que reporta el paciente durante todo el ejercicio de cada nivel.

**Promedio total:** Corresponde al promedio de la frecuencia cardiaca del promedio de nivel 1, nivel 2 y nivel 3, es decir, la frecuencia cardiaca promedio durante todo el ejercicio.

**Prueba 4:** Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en la frecuencia cardiaca en el promedio del nivel 1 frente a la frecuencia cardiaca cuando inicia el nivel.

**Hipótesis nula:** Existe un cambio menor o igual a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 1 y su frecuencia inicial

**Hipótesis alternativa:** Existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 1 y su frecuencia inicial

**Nivel de significancia 5%**

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	Promedio Nivel 1	Frecuencia Inicial N1
Media	95.93026005	82.5
Varianza	187.151932	171.5454545
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.474015696	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	3.385628592	
P(T<=t) una cola	0.003040856	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.006081712	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

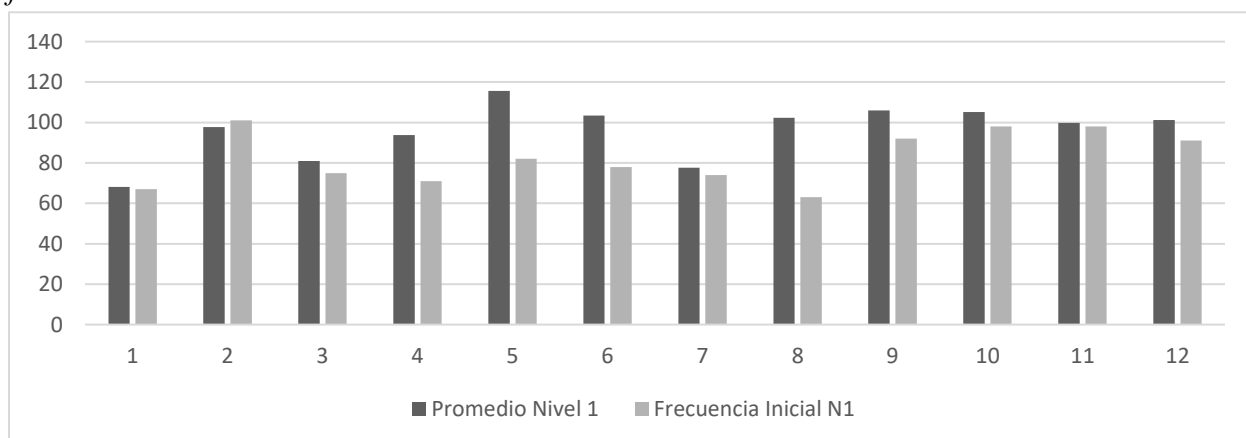
**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis nula.

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 3,3856, mayor al valor crítico 1,7959 ( $3,3856 \geq 1,7959$ ); Se concluye rechazar la hipótesis nula.

Con un nivel de significancia de 5% existe evidencia estadística para afirmar que existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardíaca de los pacientes entre el nivel 1 y su frecuencia inicial.

Como se muestra en la figura 79, se observa al comparar el promedio de frecuencias del nivel 1 con relación a la frecuencia inicial de los participantes que hubo un cambio significativo luego de realizar la interacción del primer nivel del ambiente virtual inmersivo de realidad virtual.

**Figura 79** Gráfica de barras entre Frecuencia cardíaca promedio del Nivel 1 con relación a la frecuencia cardíaca inicial del nivel 1



**Prueba 5: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en la frecuencia cardiaca en el promedio del nivel 2 frente a la frecuencia cardiaca cuando inicia el nivel.**

**Hipótesis nula:** Existe un cambio menor o igual a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 2 y su frecuencia inicial

**Hipótesis alternativa:** Existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 2 y su frecuencia inicial

**Nivel de significancia 5%**

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Promedio Nivel 2</i>	<i>Frecuencia Inicial N2</i>
Media	108.377158	106.5833333
Varianza	193.0978652	279.719697
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.873346064	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	0.759879805	
P(T<=t) una cola	0.23165079	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.46330158	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

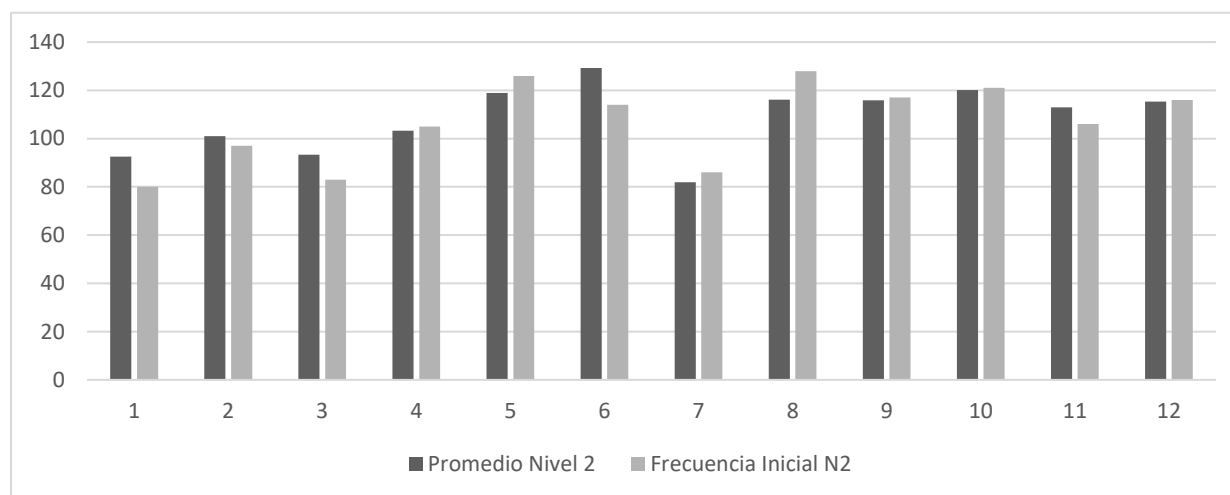
**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis nula.

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 0,7599, es menor al valor crítico 1,7959 ( $0,7599 \leq 1,7959$ ); Se concluye no rechazar la hipótesis nula.

Con un nivel de significancia de 5% existe evidencia estadística para afirmar que existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes Entre el nivel 2 y su frecuencia inicial.

Como se muestra en la figura 80, se observa al comparar el promedio de frecuencias del nivel 2 con relación a la frecuencia inicial de los participantes al iniciar este nivel, que no hubo un cambio significativo luego de realizar la interacción del segundo nivel del ambiente virtual inmersivo. Lo cual puede sugerir que el participante ya tenía un aumento en su frecuencia cardiaca cuando inició el nivel y el cambio que tuvo durante la finalización de este no fue tan diferente que fuera significativo.

**Figura 80** Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca promedio del Nivel 2 con relación a la frecuencia cardiaca inicial del Nivel 2



**Prueba 6: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en la frecuencia cardiaca en el promedio del nivel 3 frente a la frecuencia cardiaca cuando inicia el nivel.**

**Hipótesis nula:**

Existe un cambio menor o igual a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 3 y su frecuencia inicial

**Hipótesis alternativa:**

Existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 3 y su frecuencia inicial

**Nivel de significancia 5%**



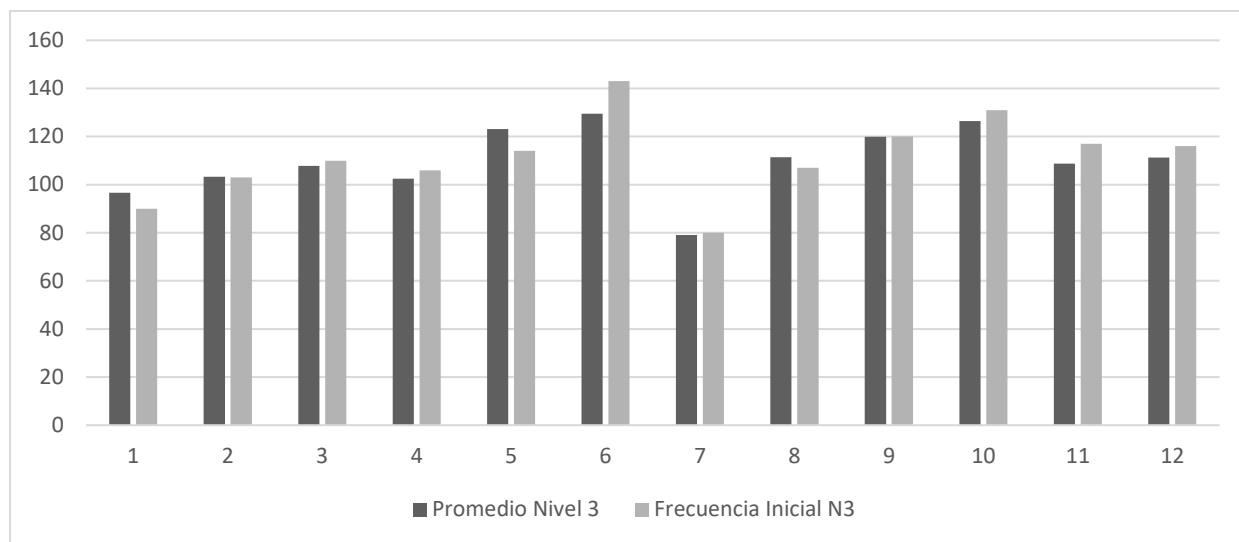
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Promedio Nivel 3</i>	<i>Frecuencia Inicial N3</i>
Media	109.9922477	111.4166667
Varianza	196.8305643	280.0833333
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.931772501	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	-0.786486005	
P(T<=t) una cola	0.22409757	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.448195141	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis nula.

Decisión: Como el estadístico de prueba es -0,7865, menor al valor crítico 1,7959 ( $0,7865 \leq 1,7959$ ); Se concluye no rechazar la hipótesis inicial. Con un nivel de significancia de 5% no existe evidencia estadística para afirmar que existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardíaca de los pacientes entre el nivel 3 y su frecuencia inicial.

Como se muestra en la figura 81, se observa al comparar el promedio de frecuencias del nivel 3 con relación a la frecuencia inicial de los participantes al iniciar este nivel, que no hubo un cambio significativo luego de realizar la interacción del tercer nivel del ambiente virtual inmersivo. Lo cual puede sugerir que el participante ya tenía un aumento en su frecuencia cardíaca cuando inició el tercer nivel y el cambio que tuvo durante la finalización de este no fue tan diferente que fuera significativo.

**Figura 81** Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca promedio del Nivel 3 con relación a la frecuencia cardiaca inicial del Nivel 3



**Prueba 7: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en la frecuencia cardiaca en el promedio del nivel 3 frente al promedio de la frecuencia cardiaca en el nivel 1.**

**Hipótesis nula:** Existe un cambio menor o igual a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 3 y nivel 1

**Hipótesis alternativa:** Existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 3 y nivel 1

**Nivel de significancia 5%**

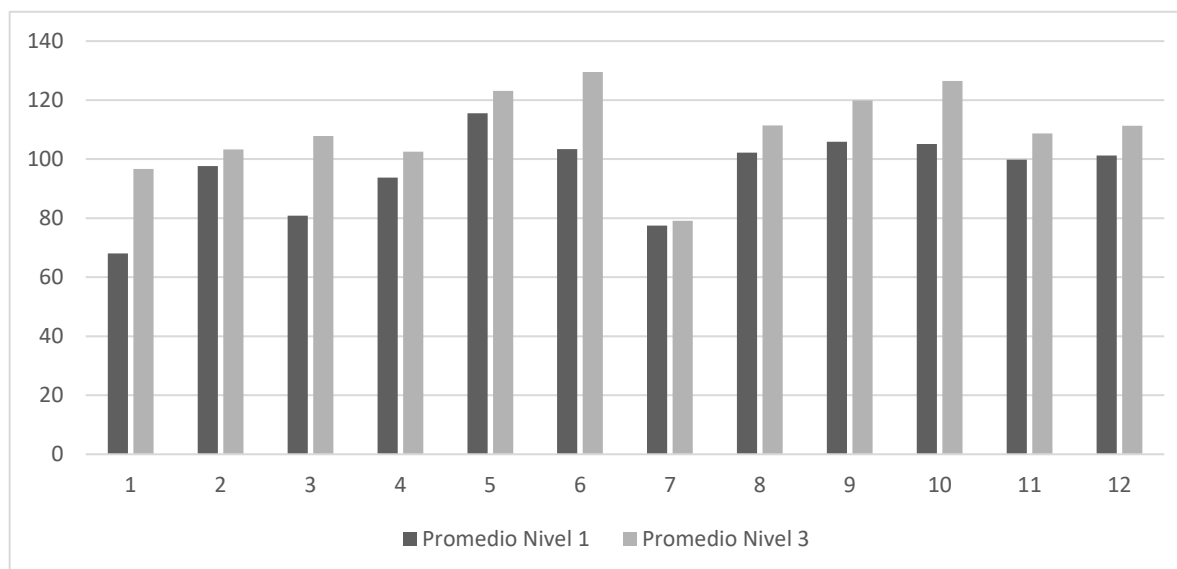
Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Promedio Nivel 3</i>	<i>Promedio Nivel 1</i>
Media	109.9922477	95.93026005
Varianza	196.8305643	187.151932
Observaciones	12	12
Coeficiente de correlación de Pearson	0.777826144	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	5.271008764	
P(T<=t) una cola	0.000131954	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.000263908	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis nula.

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 5,2710, mayor al valor crítico 1,7959 ( $5,2710 \geq 1,7959$ ); Se concluye rechazar la hipótesis inicial. Con un nivel de significancia de 5% existe evidencia estadística para afirmar que existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca de los pacientes entre el nivel 3 y el nivel 1.

Como se muestra en la figura 82, se observa al comparar el promedio de frecuencias del nivel 1 con relación al promedio de frecuencias del nivel 3, que hubo una diferencia significativa en el aumento la frecuencia cardiaca ante el cambio de niveles de intensidad entre el primer y tercer nivel durante la interacción con el ambiente virtual inmersivo.

**Figura 82.** Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca promedio del Nivel 1 con relación a la frecuencia promedio del Nivel 3.



**Prueba 8: Se busca evidencia estadística para la existencia de cambios en la frecuencia cardiaca promedio total frente a la frecuencia cardiaca cuando inicia el ejercicio.**

**Hipótesis nula:** Existe un cambio menor o igual a cero en la frecuencia cardiaca promedio total de los pacientes y la frecuencia cardiaca inicial en el nivel 1

**Hipótesis alternativa:** Existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca promedio total de los pacientes y la frecuencia cardiaca inicial en el nivel 1

**Nivel de significancia 5%**

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Promedio total</i>	<i>Frecuencia Inicial N1</i>
Media	104.7665552	82.5
Varianza	173.568931	171.5454545
Observaciones	12	12
Coefficiente de correlación de Pearson	0.393058117	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	11	
Estadístico t	5.329496183	
P(T<=t) una cola	0.000120628	
Valor crítico de t (una cola)	1.795884819	
P(T<=t) dos colas	0.000241257	
Valor crítico de t (dos colas)	2.20098516	

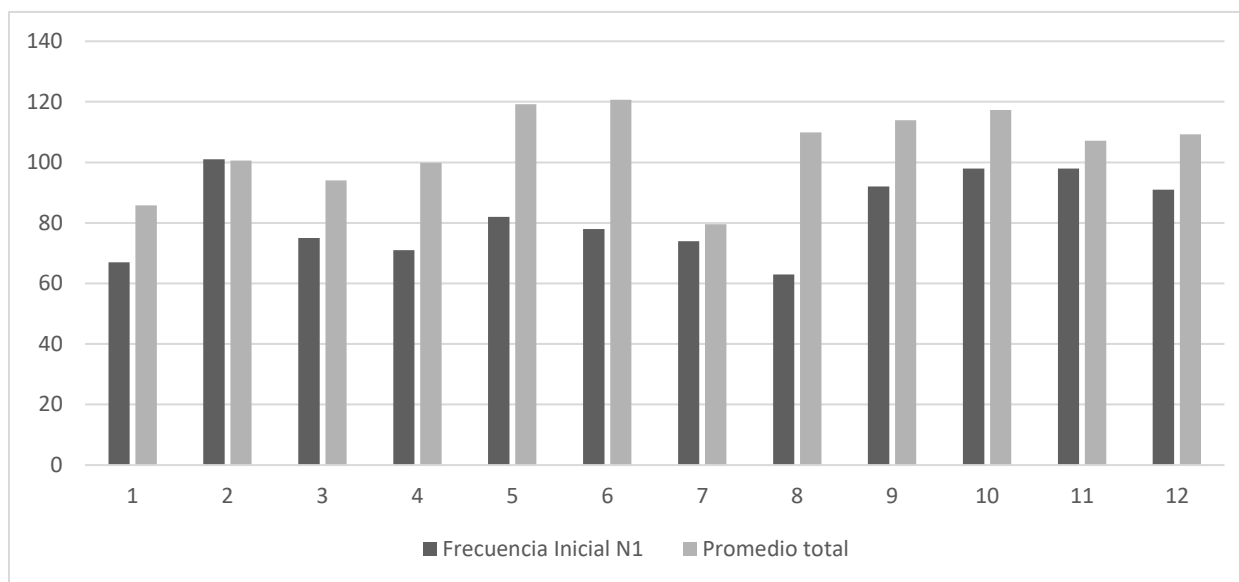
**Condición de rechazo:** Cuando el estadístico t de prueba sea mayor al valor crítico t se rechaza la hipótesis nula.

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 5,329, mayor al valor crítico 1,7959 ( $5,329 \geq 1,7959$ ); Se concluye rechazar la hipótesis inicial.

Con un nivel de significancia de 5% existe evidencia estadística para afirmar que existe un cambio mayor a cero en la frecuencia cardiaca promedio total de los pacientes y la frecuencia cardiaca inicial en el nivel 1.

Como se muestra en la figura 83, se observa al comparar el promedio de frecuencias inicial al comenzar la intervención con el ambiente virtual inmersivo en comparación con la frecuencia cardiaca promedio obtenida luego de la intervención, se evidencia estadísticamente que hubo una diferencia significativa en el aumento la frecuencia cardiaca de los participantes ante el uso del ambiente virtual inmersivo y sus tres niveles de intensidad, demostrando así la pertinencia del uso de la tecnología de realidad virtual y el ambiente virtual desarrollado para inducir a través de la estimulación audiovisual y el movimiento que permite en los participantes el aumento de su frecuencia cardiaca.

**Figura 83** *Gráfica de barras entre Frecuencia cardiaca inicial del Nivel 1 con relación a la frecuencia cardiaca promedio total*



**ANEXO D PRUEBAS DE HIPÓTESIS NO PARAMÉTRICA DE WILCOXON EN VARIABLES DE MOVIMIENTO**

**Prueba 9: Se busca evidencia estadística de la existencia de cambios en el promedio del nivel 1 frente al promedio del nivel 3 de la articulación del hombro izquierdo**

<b>Hipótesis nula:</b>	Existe un cambio menor o igual a cero en el movimiento del promedio del nivel 1 de la articulación del hombro izquierdo en comparación con el promedio del nivel 3
<b>Hipótesis alternativa:</b>	Existe un cambio mayor a cero en el movimiento del promedio del nivel 1 de la articulación del hombro izquierdo en comparación con el promedio del nivel 3

**Tabla 18** Prueba Wilcoxon en promedios de la Articulación de Hombro Izquierdo

<i>Articulación de Hombro Izquierdo</i>	<i>Promedio Nivel 1</i>	<i>Promedio Nivel 3</i>
<i>median</i>	0.499432376	0.507226596
<i>count</i>	12	
<i># unequal</i>	12	
<i>T+</i>	23	
<i>T-</i>	55	
<i>T</i>	23	
	one tail	two tail
<i>mean</i>	39	
<i>std dev</i>	12.74754878	ties
<i>z-score</i>	1.215920038	yates
<i>effect r</i>	0.248198638	
<i>p-norm</i>	0.112007692	0.224015384
<i>p-exact</i>	0.116699219	0.233398438

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 0.2, mayor a 0.05, existe evidencia estadística para afirmar que no existe un cambio mayor a cero en el movimiento promedio del nivel 1 y el promedio de movimiento del nivel 3 de la articulación del Hombro Izquierdo

**Prueba 10: Se busca evidencia estadística de la existencia de cambios en el promedio del nivel 1 frente al promedio del nivel 3 de la articulación del codo izquierdo**

<b>Hipótesis nula:</b>	Existe un cambio menor o igual a cero en el movimiento del promedio del nivel 1 de la articulación del codo izquierdo en comparación con el promedio del nivel 3
<b>Hipótesis alternativa:</b>	Existe un cambio mayor a cero en el movimiento del promedio del nivel 1 de la articulación del codo izquierdo en comparación con el promedio del nivel 3

**Tabla 19** Prueba Wilcoxon en promedios de la Articulación de Codo Izquierdo

<i>Articulación de Codo Izquierdo</i>	<i>Promedio Nivel 1</i>	<i>Promedio Nivel 3</i>
<i>median</i>	0.405	0.395
<i>count</i>	12	
<i># unequal</i>	12	
<i>T+</i>	32	
<i>T-</i>	46	
<i>T</i>	32	
	one tail	two tail
<i>mean</i>	39	
<i>std dev</i>	12.7377392	ties
<i>z-score</i>	0.510294637	yates
<i>effect r</i>	0.104163457	
<i>p-norm</i>	0.30492253	0.60984506
<i>p-exact</i>	0.311035156	0.622070313

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 0.6, mayor a 0.05, existe evidencia estadística para afirmar que no existe un cambio mayor a cero en el movimiento promedio del nivel 1 y el promedio de movimiento del nivel 3 de la articulación del codo izquierdo.

**Prueba 11: Se busca evidencia estadística de la existencia de cambios en el promedio del nivel 1 frente al promedio del nivel 3 de la articulación del hombro derecho**

<b>Hipótesis nula:</b>	Existe un cambio menor o igual a cero en el movimiento del promedio del nivel 1 de la articulación del hombro derecho en comparación con el promedio del nivel 3
<b>Hipótesis alternativa:</b>	Existe un cambio mayor a cero en el movimiento del promedio del nivel 1 de la articulación del hombro derecho en comparación con el promedio del nivel 3

**Tabla 20** Prueba Wilcoxon en promedios de la Articulación de Hombro Derecho

Articulación de Hombro Derecho	Promedio Nivel 1	Promedio Nivel 3
<i>median</i>	0.48	0.495
<i>count</i>	12	
<i># unequal</i>	9	
<i>T+</i>	16.5	
<i>T-</i>	28.5	
<i>T</i>	16.5	
	one tail	two tail
<i>mean</i>	22.5	
<i>std dev</i>	8.284020763	ties
<i>z-score</i>	0.663928804	yates
<i>effect r</i>	0.1355239	
<i>p-norm</i>	0.25336794	0.50673588
<i>p-exact</i>	0.248046875	0.49609375

**Decisión:** Como el estadístico de prueba es 0.5, mayor a 0.05, existe evidencia estadística para afirmar que no existe un cambio mayor a cero en el movimiento promedio del nivel 1 y el promedio de movimiento del nivel 3 de la articulación del Hombro derecho.



## **ANEXO E ENCUESTA DIAGNÓSTICA CUALITATIVA PARA EVALUAR EL SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL**

- ¿Cuál es su nombre?
- ¿Cuál es el nombre de su cuidador?
- ¿Qué edad Tiene?

Nombre Paciente:

Nombre Cuidador:

Parentesco:

Preguntas Paciente:

- ¿Qué edad Tiene?
- ¿Qué Peso Tiene?
- ¿Qué Estatura Tiene?
- ¿Realiza Actividad física, cuánto veces y tiempo por semana?
- ¿Toma medicamentos anticoagulantes o betabloquiadores (Hipertensión)?
- ¿Qué nivel de estudio Tiene?
- ¿Qué otras enfermedades base presenta?
- ¿Puede caminar 10 minutos sin la necesidad de ayudas?
- ¿Cuenta con la habilidad de realizar actividades de la vida diaria (ADLs)?
- ¿Cuenta con problemas en sus habilidades visoespaciales?
- ¿Cuenta con problemas a nivel motor?
- ¿Cuenta con alguna patología Cardiovascular?
- ¿Cuenta con la capacidad de dar un consentimiento informado?
- ¿Cuenta con Celular, ¿Cuál tiene?
- ¿Se le dificulta el manejo de las nuevas Tecnologías (Smartphone, Computador)?
- ¿Desearía que su rehabilitación cognitiva fuera en casa usando las Tecnologías actuales disponibles para ello?
- Si pudiera escoger entre una actividad para realizar su rehabilitación, ¿Cuál escogería (Caminar, Bailar, Montar Bicicleta, Todas, ¿Ninguna)?
- ¿Le gustaría poder ver la evolución de su tratamiento a través de una página web?
- En una escala de 1 a 10, siendo 1 muy bajo y 10 muy alto ¿Cómo calificaría su grado de satisfacción con la tecnología de Realidad y los ambientes virtuales probados?

- En una escala de 1 a 10, siendo 1 muy bajo y 10 muy alto ¿Volvería a usar la tecnología de Realidad Virtual en su tratamiento de rehabilitación?
- ¿Es difícil para usted el uso de la tecnología?
- ¿Le molesta de alguna manera el casco de realidad virtual?
- En una escala de 1 a 10, siendo 1 muy bajo y 10 muy alto, ¿Basándose en su experiencia completa con la experiencia del ambiente virtual para el tratamiento de rehabilitación ¿Qué probabilidad existe que nos recomiende con algún conocido que cuente con su misma patología?
- ¿Tuvo algún problema con el uso de la tecnología de realidad virtual?