



Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Ingeniería en Ciencias de la Computación

**Un proceso de desarrollo de exergames con realidad virtual para
fisioterapeutas**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
en Ciencias de la Computación


Autores:

Bryam David Maicincho Pacheco

Bernardo Rafael Rodas Bravo


Director:

Irene Priscila Cedillo Orellana

ORCID:  0000-0002-6787-0655

Co-Director:

Johanna Lucía Campoverde Vizhcay

ORCID:  0000-0001-6058-9433

Cuenca, Ecuador

2023-09-05

Resumen

La revolución tecnológica ha abierto las puertas de los videojuegos al mundo, mostrando sus inmensas posibilidades en diferentes campos. Entre estos, se encuentran los juegos serios, que trascienden el entretenimiento y se convierten en herramientas para el aprendizaje, la formación y la salud. Los *exergames* terapéuticos se encuentran dentro de los juegos serios, los cuales combinan elementos de videojuegos con actividad física para la rehabilitación.

La fisioterapia se enfoca en mejorar la función física en personas con condiciones médicas que afectan su movilidad o funcionalidad normal, mediante la rehabilitación. A través de los *exergames* terapéuticos, los fisioterapeutas pueden crear terapias que fomenten una mayor adherencia de los pacientes al proceso de rehabilitación, mejorando parámetros como el control, la movilidad y la fuerza.

Este trabajo de titulación propone *Virtual Reality Therapeutic Exergame Process*, un proceso para la creación de *exergames* terapéuticos con realidad virtual, destinado a guiar a ingenieros de software en su construcción y a ser utilizados por profesionales de la rehabilitación física.

Para validar esta propuesta, se realizó un cuasi-experimento con 20 ingenieros de Ciencias de la Computación y un caso de estudio con dos expertos en fisioterapia, en el que se instanció el proceso *Virtual Reality Therapeutic Exergame Process* con un ejercicio para la rehabilitación de la articulación glenohumeral del hombro. Los resultados sugieren que este proceso es una guía efectiva para los ingenieros en el desarrollo de *exergame* terapéutico y cumple con los requisitos de la fisioterapia.

Palabras clave del autor: rehabilitación física, exergames terapéuticos, entornos virtuales, gamificación



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

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Bryam David Maicincho Pacheco - Bernardo Rafael Rodas Bravo

Abstract

The technological revolution has opened video games's doors to the world, showcasing their immense possibilities in various fields. Among these are serious games, which transcend entertainment and become tools for learning, training, and health. Therapeutic exergames are part of serious games, which combine video game elements with physical activity for rehabilitation.

Physical therapy focuses on improving physical function in people with medical conditions that affect their mobility or normal functionality through rehabilitation. Through therapeutic exergames, physiotherapists can create therapies that encourage greater patient adherence to the rehabilitation process, improving parameters such as control, mobility, and strength.

This thesis proposes Virtual Reality Therapeutic Exergame Process, a process for creating therapeutic exergames with virtual reality, aimed at guiding software engineers in their development and intended to be used by professionals in physical rehabilitation.

To validate this proposal, a quasi-experiment was conducted with 20 computer science engineers and a case study with two physiotherapy experts, in which the Virtual Reality Therapeutic Exergame Process was instantiated for an exercise for the rehabilitation of the glenohumeral joint of the shoulder. The results suggest that this process is an effective guide for engineers in the development of therapeutic exergames and meets the requirements of physiotherapy.

Author Keywords: physical rehabilitation, therapeutic exergames, virtual environments, gamification



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Bryam David Maicincho Pacheco - Bernardo Rafael Rodas Bravo

Índice

Índice	4
Índice de figuras	7
Índice de tablas	9
Agradecimientos	11
Dedicatoria	12
Dedicatoria	13
1. Introducción	14
1.1. Antecedentes y motivación	14
1.2. Solución propuesta	15
1.3. Hipótesis y objetivos	16
1.3.1. Hipótesis	16
1.3.2. Objetivo general	16
1.3.3. Objetivos específicos	16
1.4. Metodología aplicada	17
1.5. Estructura del documento	19
2. Marco Teórico	21
2.1. Juegos serios	21
2.1.1. Exergames	21
2.2. Exergames y rehabilitación	21
2.2.1. Rehabilitación	22
2.2.2. Exergame terapéutico	22
2.3. Realidad Virtual	22
2.3.1. Tipos de Realidad Virtual	23
2.3.2. Dispositivos utilizados en terapias con RV	23
2.3.3. Entornos Virtuales	24
2.3.4. Escenarios Virtuales	24
2.3.5. Herramientas y programas de RV	24
2.3.6. Videojuegos de realidad virtual	25

2.4. Gamificación	25
2.5. Metodologías para el proceso de ingeniería de software	25
2.5.1. Exergaming y rehabilitación: Una metodología para el diseño de exergames seguros y terapéuticos	26
3. Estado del arte	28
3.1. Evolución de los exergames	28
3.2. Trabajos relacionados	29
4. Proceso VR-TEP para el desarrollo de exergames terapéuticos	37
4.1. Proceso planteado	37
4.2. Roles involucrados	37
4.2.1. Fisioterapeuta/Experto en el dominio de rehabilitación	37
4.2.2. Ingeniero de software	38
4.2.3. Experto en desarrollo de realidad virtual	38
4.2.4. Diseñador de videojuegos	39
4.2.5. Experto en HCI	39
4.2.6. Técnico en el desarrollo de software	39
4.3. Actividades del proceso	39
4.3.1. Definición del usuario y ejercicios	40
4.3.2. Definición de requisitos de métricas y dispositivos	43
4.3.3. Virtualización del ejercicio	45
4.3.4. Diseño del Juego	46
4.3.5. Integración de objetivos secundarios y monitoreo	52
4.3.6. Validación del <i>exergame</i> terapéutico	53
5. Instanciación del proceso VR-TEP	55
5.1. Definición del perfil de usuario y ejercicios	55
5.1.1. Definición del perfil de usuario	55
5.1.2. Definición del ejercicio	55
5.2. Definir requisitos de métricas y dispositivos	57
5.2.1. Definición de requisitos de <i>feedback</i> y <i>tracking</i>	57
5.2.2. Definir dispositivos de hardware y herramientas de software	57
5.3. Virtualización de los ejercicios	58
5.4. Diseño del juego	59
5.4.1. Definición general del juego	59

5.4.2. Diseñar interfaces	60
5.4.3. Diseñar ambientes inmersivos	61
5.4.4. Implementación en el ejercicio virtual	62
5.5. Integración de objetivos secundarios y monitoreo	62
5.5.1. Desarrollar módulo de monitoreo	63
5.5.2. Integrar objetivos secundarios	65
5.6. Validación del exergame terapéutico	66
6. Evaluación del proceso VR-TEP	68
6.1. Introducción	68
6.2. Cuasi-experimento	69
6.2.1. Modelo de aceptación de la tecnología (TAM)	69
6.2.2. Modelo de evaluación de métodos (MEM)	70
6.2.3. Planificación del cuasi-experimento	75
6.2.4. Ejecución y análisis del experimento	78
6.2.5. Análisis de las percepciones del usuario	78
6.2.6. Evaluación de la validez	86
6.3. Caso de estudio	87
6.3.1. Diseñar y planificar el caso de estudio	88
6.3.2. Preparar y recoger datos	90
6.3.3. Preparación de la Entrevista	90
6.3.4. Ejecución del caso de estudio	91
6.3.5. Analizar e interpretar los datos	91
6.3.6. Amenazas a la validez	92
7. Conclusiones y trabajo futuro	94
7.1. Conclusiones	94
7.2. Trabajo futuro	96
Referencias	97
Anexos	105
Anexo A. Plantillas del proceso VR-TEP	105
Anexo B. Instanciación del proceso	106
Anexo C. Caso de estudio con fisioterapeutas	107

Índice de figuras

1.1. Metodología de investigación de Sampieri H.[1]	17
1.2. Metodología representada en los capítulos del trabajo de titulación. Elaboración propia.	20
2.1. Metodología para el desarrollo de exergames terapéuticos de Pirovanno et al.[2].	27
4.1. Proceso VR-TEP para el desarrollo de <i>exergames</i> terapéuticos con realidad virtual	38
4.2. Tareas de la actividad <i>Definición del ejercicio</i>	40
4.3. Plantilla perfil del usuario-ejemplo. Elaboración propia.	42
4.4. Tareas de la actividad <i>Definición de requisitos de métricas y dispositivos</i>	44
4.5. Tareas de la actividad <i>Virtualización del ejercicio</i>	46
4.6. Tareas en la actividad <i>Diseño del juego</i>	47
4.7. Tareas de la actividad <i>Integración de objetivos secundarios y monitoreo</i>	52
4.8. Tareas de la actividad <i>Validación del exergame terapéutico</i>	54
5.1. Perfil del usuario. Elaboración propia.	56
5.2. Virtualización del ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.	61
5.3. Interfaz principal del juego. Opciones iniciar, reanudar el juego, salir y quitar el volumen. Elaboración propia.	63
5.4. Interfaz principal del juego. Retroalimentación mediante cambio sutil de colores para indicar donde se encuentra el usuario. Elaboración propia.	63
5.5. Interfaz principal del juego. Retroalimentación mediante cambio sutil de colores para indicar donde se encuentra el usuario	64
5.6. Funcionamiento del módulo de monitoreo de métricas. D es la distancia del hombro hasta el brazo. α es el ángulo de abducción entre el brazo y una componente paralela al torso y alineada con el hombro.	64
5.7. Requisitos de <i>feedback</i> y <i>tracking</i> del ejercicio de desplazamiento de hombro.	65
5.8. Objetivos secundarios integrados en el <i>exergame</i> . En la pantalla frente al usuario se muestran los errores en el movimiento del desplazamiento lateral de brazo extendido.	66
5.9. Validación con el experto en el dominio de la fisioterapia del exergame con realidad virtual generado siguiendo el proceso VR-TEP	67
6.1. Versión simplificada del TAM [3]	70
6.2. Modelo MEM [4]	71

6.3. Preguntas del cuestionario organizadas de acuerdo a su constructo.	72
6.4. Representación de las variables PEOU, PU e ITU mediante el diagrama de cajas. En azul el diagrama inicial con 20 participantes, en amarillo diagrama filtrado sin datos anómalos (19 participantes).	79
6.5. Resumen de resultados	86
1. Plantilla de Documento de la terapia. Elaboración propia.	105
2. Instanciación de la plantilla para la rehabilitación del hombro.	106
3. Prueba con el primer sujeto experimental.	107
4. Prueba con el segundo sujeto experimental.	108

Índice de tablas

3.1. Criterios de trabajos relacionados con exergames	30
3.2. Criterios de trabajos relacionados con exergames y RV	32
4.1. Guía para definir el perfil del usuario. En esta guía se incluyen aspectos importantes a considerar para crear un perfil de acuerdo a los intereses y las necesidades del usuario. Basado en la técnica PaTHY [5]	41
4.2. Campos de la plantilla del documento Objetivos de la terapia (Anexo 1).	43
4.3. Guía de diseño de juegos. Elaboración propia basada en Rogers [6] y Tondello et al., [7].	49
4.4. Ocho principios para diseño HCI. Adaptado de Diaz et al.,[8].	50
4.5. Guía de ambientes inmersivos. Elaboración propia basada en Neo et al., [9]	51
5.1. Requisitos de feedback del ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.	57
5.2. Requisitos de tracking para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.	58
5.3. Herramientas de software para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.	59
5.4. Dispositivos de hardware para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.	59
5.5. Guía de general del juego. Elaboración propia.	60
5.6. Diseño de ambientes inmersivo. Elaboración propia	62
6.1. Instrumento para evaluarlas variables de percepción - Cuasi-experimento.	74
6.2. Variables dependientes relacionadas con la percepción de los usuarios	76
6.3. Variables dependientes basadas en el rendimiento	77
6.4. Prueba de normalidad para variables con Shapiro Wilk y Wilcoxon.	80
6.5. Resumen de las métricas de efectividad y eficiencia de la actividad de diseño del juego.	81
6.6. Grado de significancia [4]	82
6.7. Resumen del modelo para ver la relación entre PEOU y Eficiencia	82
6.8. Resumen del modelo para identificar la relación entre la Efectividad y PU.	83
6.9. Resumen del modelo identificar la relación entre PEOU y PU.	84
6.10. Modelo de regresión entre ITU y PU.	84

6.11. Modelo de regresión entre ITU y PEOU.	85
6.12. Resumen de los resultados	86
6.13. Esquema protocolo caso de estudio [10]	90
6.14. Preguntas para la entrevista	91

Agradecimientos

En este momento crucial de nuestro trabajo de titulación, queremos expresar nuestra gratitud a todas las personas que han contribuido significativamente al desarrollo y éxito de este proyecto.

Primeramente, queremos agradecer al Grupo de Investigación e Innovación Tecnológica (GIIT) de la Universidad de Cuenca, quienes supieron guiarnos con su amplio conocimiento y nos brindaron su apoyo en todas las etapas de nuestra investigación. Su dedicación y compromiso fueron esenciales para obtener resultados valiosos y ayudarnos en la búsqueda de soluciones que se encuentran en este trabajo de titulación.

De la misma forma, extendemos nuestro agradecimiento a nuestras tutoras de tesis, Ing. Priscila Cedillo y Magister Johanna Campoverde, por su orientación, paciencia y constante motivación a lo largo de todo el proceso de investigación. Su experiencia y conocimientos en el campo fueron clave para enriquecer nuestro trabajo y guiarnos en la dirección correcta. Agradecemos sinceramente su tiempo, su disposición para resolver nuestras dudas y su valiosa retroalimentación, que nos ayudó a perfeccionar nuestra investigación. Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Andrés Auquilla, cuya guía, experiencia y valiosas sugerencias han sido fundamentales para la realización de este trabajo. Asimismo, extendemos nuestra gratitud al Ing. Paúl Cárdenas, quien nos brindó su apoyo en múltiples etapas del proyecto; su conocimiento y ayuda fueron cruciales para el éxito de nuestra investigación.

Del mismo modo, queremos expresar nuestros agradecimientos a todos los profesores que han formado parte de nuestra formación académica por las enseñanzas, valores y compromiso que han sido pilares dentro de nuestra formación y han contribuido a nuestro desarrollo como profesionales. Agradecemos profundamente por su paciente y constante apoyo.

Finalmente, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad de Cuenca por el apoyo y oportunidades brindadas a lo largo de nuestra formación. Agradecemos a cada miembro de la comunidad universitaria, desde profesores, administrativos y todo el personal que pertenece a esta institución, por su dedicación y esfuerzo, creando un entorno en el que hemos podido crecer, aprender y alcanzar nuestras metas.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a todas las personas que me han apoyado en este proceso. Especialmente a mi familia que siempre estuvo conmigo. No tengo palabras para agradecer lo mucho que significan en mi vida y su apoyo en esta etapa.

A Rodrigo y Doris gracias por brindarme su apoyo. No tengo palabras para expresar el gran cariño que les tengo, me han guiado desde muy pequeño. No puedo más que expresar esta gratitud por todo lo que representan y han hecho por mí. A mamita Rosa que es el mejor apoyo que pude tener en la vida, desde sus pequeñas palabras, un pequeño abrazo, sus locuras, hasta sus regaños que me han ayudado a mantenerme adelante. Le quiero agradecer porque a pesar de los problemas nunca me ha dejado de brindar su apoyo y bendición, esa pequeña bendición que me ha cuidado en todo momento. A mis hermanos Esteban, Sebas, Xavier y Andrés que siempre estarán en mi corazón, pues con ustedes he compartido grandes momentos, desde peleas sin sentido hasta locuras que siempre estarán presentes en mí, y espero seguir compartiendo momentos valiosos. A mi Madre Lucía, que me ha apoyado en cada decisión que he tomado. Gracias por estar siempre conmigo a pesar de la distancia, nunca me has dejado solo, sé que quieres lo mejor para mí y siempre estaré agradecido por tener una madre como tú. A pa José, a mis hermanos Maní y Aris que me ha brindado su apoyo. A mi tía Paty que me ha dado su apoyo ante muchos problemas que he tenido, a veces solo hace falta un pequeño consejo para seguir adelante, siempre estará en mi recuerdo esas pequeñas palabras de aliento en momentos difíciles, a veces simplemente se necesita unas palabras de apoyo para seguir adelante. Igualmente, quiero agradecer a la loca de Dani que sus pequeñas ocurrencias me hacían sonreír.

Y como no dedicar este trabajo a mis amigos que han compartido conmigo en todo este proceso, al final creó que es una de las experiencias más bonitas en este camino: Bernardo, Jorge, Alberto, Andrea, Mavi, Mateo Reinoso, Adan B, Pablo Q, Chapar, J, Lucho POU, Yuz, Joss E, gracias muchachos por todos los momentos compartidos.

Bryam David

Dedicatoria

Dedico este trabajo de titulación a mi familia y a mis seres queridos, de quienes obtuve apoyo incondicional y han sido una gran inspiración para la persona que me he convertido. Dedico también este trabajo a todas las amistades que han hecho amena mi experiencia en este proceso educativo, como mis amigos: Bryam, Jorge, Alberto, Andrea y Marcelo. No puedo olvidar a dedicar este trabajo a aquellas personas que me ayudaron en la realización de mi tesis, como son mi hermana Daniela y mis amigas, Joselinne y Katy. Sobre todo, quiero dedicar este esfuerzo a mi madre, Cecilia. Fue ella quien supo sacarnos adelante a mis hermanos y a mí adelante, enseñándonos su fuerza de voluntad y perseverancia. A todos ellos, les dedico este trabajo.

Bernardo Rafael

1. Introducción

1.1. Antecedentes y motivación

La revolución tecnológica ha abierto las puertas de los videojuegos al mundo, mostrando las inmensas posibilidades de uso que tienen, como la actividad física, la educación, el entretenimiento, entre otros [11]. En el ámbito de los videojuegos ha surgido la categoría de "juegos serios". Estos son juegos creados con un objetivo particular, más allá del simple entretenimiento [11]. Dicha categoría ha permitido que algunos videojuegos trasciendan más allá del entretenimiento, convirtiéndose en herramientas poderosas para el aprendizaje, formación o incluso el bienestar general.

Los juegos serios, a su vez y dependiendo del mercado, se pueden clasificar en juegos: militares, gobernación, educativos, corporativos, cuidado de la salud, políticos, religiosos y de arte [12]. En el ámbito de los juegos orientados al bienestar y la salud, se encuentran los *exergames*¹, los cuales consisten en incorporar elementos atractivos de los videojuegos para actividades físicas [13].

Consecuentemente, un *exergame* es un videojuego cuya función principal es estimular la actividad física (AF) [14]. Estos juegos están diseñados para promover la AF y el entretenimiento a través de tareas que implican movimientos, con el objetivo de estimular la gratificación asociada a la práctica del ejercicio [15].

Además, los *exergames* pueden ser usados, como un recurso en el planteamiento de objetivos de rehabilitación, de ahí, es muy importante la adherencia al tratamiento terapéutico a través de un juego atractivo y entretenido, que garantice un adecuado tratamiento al paciente en el proceso de rehabilitación [16].

En busca de aumentar la satisfacción del usuario y gracias a los avances tecnológicos, se puede integrar el *exergame* con otras tecnologías que permitan que el juego sea inmersivo; esta inmersividad es posible mediante la Realidad Virtual (RV); misma que, ayuda en la generación de mundos tridimensionales, que simulan la realidad y hacen que las personas sientan que están en un mundo artificial [17]. A su vez, los *exergames* pueden beneficiarse de las tecnologías de RV, puesto que dicha combinación de enfoques abre nuevas perspectivas en diferentes campos de estudio; uno de estos campos es la medicina, con especial enfoque en

¹El término 'exergames' no tiene una traducción directa al español. Se refiere a una combinación de 'exercise' (ejercicio) y 'games' (juegos), describiendo juegos interactivos que requieren actividad física.

la rehabilitación, la cual constituye un proceso destinado a facilitar la recuperación después de una lesión o cirugía [18].

Así, los aspectos relacionados con la rehabilitación y que deben integrarse en los *exergames*, consisten en sesiones de ejercicios recurrentes, supervisadas por especialistas en tiempo real. En la rehabilitación tradicional, representa un alto costo, el seguimiento y adecuación de espacios para la rehabilitación, lo que incurre en valores considerables para los proveedores de atención médica y pacientes, que a menudo resulta insostenible a largo plazo [2]. Así mismo, los ejercicios prescritos para que los usuarios los realicen en casa pueden llevar a una falta de motivación e incumplimiento, sumado también a la mala realización o ejecución del ejercicio, mismo que, puede dificultar el proceso de recuperación [18].

En dicho contexto, la integración con la RV ha permitido que este tipo de juegos encuentre una nueva dimensión de desarrollo, la cual brinda la posibilidad de implementar sistemas de rehabilitación física más efectivos como los *exergames* terapéuticos (TE- *Therapeutic exergames*). Aquí surge la importancia de investigar los juegos serios, ya que han demostrado su eficacia para elevar el nivel de la motivación de pacientes durante el proceso de rehabilitación [14]. Además, los *exergames* pueden ser una solución prometedora para la rehabilitación autónoma en el hogar, siempre que se equilibre cuidadosamente el contenido motivador con la supervisión necesaria para asegurar su efectividad y seguridad terapéutica [2]. En este sentido, la RV agrega un componente adicional al ofrecer un ambiente inmersivo, que puede adecuarse para atender las necesidades de cada paciente en su proceso de rehabilitación.

1.2. Solución propuesta

Esta investigación busca extender la metodología de Pirovano [2], para lo que se utilizará un conjunto metodológico cuantitativo según el modelo de investigación propuesto por Sampieri [1], con el fin de crear un proceso que ayude al Ingeniero de Software durante el diseño de TE en entornos de RV. La propuesta está dividida por varias fases, que incluyen la revisión de la literatura, la evaluación a través de un cuasi-experimento en el cual estudiantes de último año de la Universidad de Cuenca (que serán considerados como sujetos experimentales válidos [19]) e ingenieros afines al área de Ciencias de la Computación, adicionalmente, se implementará el Modelo de Evaluación de Métodos (MEM) [4] para medir la eficiencia y efectividad en el cuasi-experimento. Finalmente, un caso de estudio con profesionales en el área fisioterapéutica para evaluar la aplicación del proceso de diseño de un *exergame* terapéutico que incluya

RV.

El objetivo de la investigación es la creación de un proceso de diseño que ayude al Ingeniero de Software en la construcción de *exergames* que incluyen realidad virtual, cumpliendo requisitos específicos del dominio de la fisioterapia. Además, para garantizar la pertinencia de los TE desde la perspectiva de la salud, se contará con la colaboración de un profesional de dicha área, quien desempeñará un papel de co-directora del estudio como experta del dominio y, adicionalmente, guiara un caso de estudio a fin de probar el software desde la perspectiva de fisioterapeutas, que a su vez utilizaran un producto de software creado a partir de este proceso y permitirá validar si dicho producto le servirá de soporte dentro de su intervención clínica.

1.3. Hipótesis y objetivos

El presente estudio busca evaluar el proceso propuesto, estableciendo una hipótesis para probar si el proceso sirve como guía para los ingenieros en el desarrollo de *exergames* con realidad virtual y cumple con las necesidades de la fisioterapia. También se establece un objetivo general y objetivos específicos como tareas a realizar en esta investigación.

1.3.1. Hipótesis

La hipótesis sugerida es: *"El proceso guía a los Ingenieros de Software en la construcción TE con RV y cumple con los requisitos del dominio de la fisioterapia"*.

1.3.2. Objetivo general

Desarrollar un proceso de diseño de *exergames* para rehabilitación física, destinado a ser usados en entornos de realidad virtual.

1.3.3. Objetivos específicos

- Analizar las soluciones existentes para el desarrollo de TE enfocados en ejercicios terapéuticos.
- Alinear un proceso de diseño de software a la metodología de Pirovano [2], con la finalidad de incluir aspectos específicos de la realidad virtual para la creación de *exergames* terapéuticos.

- Validar a través de un cuasi-experimento la aplicación y viabilidad del proceso propuesto en la elaboración de un *exergame* terapéutico por parte de un ingeniero de software.
- Conocer la opinión de fisioterapeutas a partir del *exergame* siguiendo las actividades del proceso propuesto.

1.4. Metodología aplicada

La metodología aplicada que se aplicó es la extraída del libro de metodología de investigación de Sampieri (Figura 1.1).

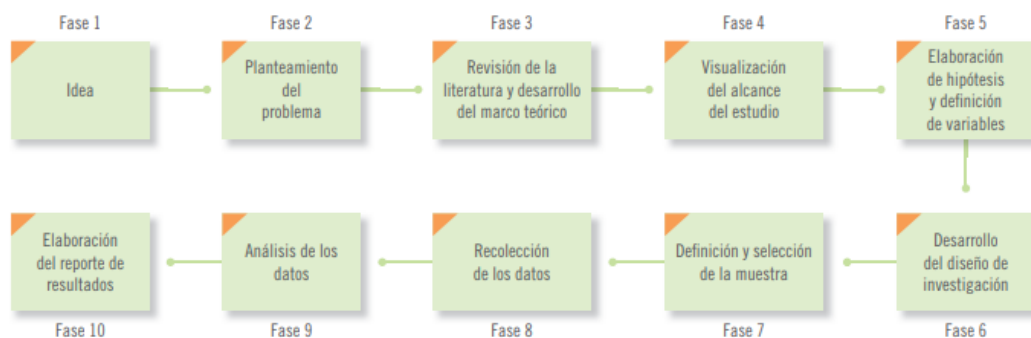


Figura 1.1: Metodología de investigación de Sampieri H.[1]

- **Idea:** La idea inicial surgió del grupo de investigación GIIT de la Universidad de Cuenca. Se originó como resultado de la pregunta sobre el proceso que se seguiría al implementar la metodología de Pirovano [2] en un dispositivo especializado, como los dispositivos de realidad virtual.
- **Planteamiento del problema:** En la Sección 1.1, se detalla el contexto del problema, mientras que los objetivos e hipótesis que guían esta investigación se describen en la Sección 1.3.
- **Revisión de la literatura y desarrollo del marco teórico:** Se ha desarrollado un marco teórico sólido que incluye las definiciones necesarias para comprender el tema, así como un estado del arte. Este último se basa en una revisión de la literatura, proporcionando los fundamentos conceptuales esenciales para comprender el proyecto de investigación.
- **Alcance de estudio:** Para el estudio, se definió un alcance exploratorio con el objetivo de investigar el estado actual del problema propuesto. La investigación se ha delimitado estableciendo un objetivo general y tres objetivos específicos, que nos permitan cubrir

toda la información necesaria requerida.

- **Elaboración de la hipótesis:** La hipótesis se definió en la Sección 1.3.1 a fin de buscar una solución en el área ingenieril y de la fisioterapia, utilizando *exergames* con realidad virtual.
- **Desarrollo del diseño de investigación:** En esta etapa, se alcanzarán los objetivos específicos planteados, con el propósito de validar el objetivo general del proyecto de investigación. Se analizan los estudios encontrados, para identificar artefactos de entrada y salida para la generación de *exergames* con realidad virtual. Estos artefactos se clasificaron y se analizaron sus relaciones con el fin de extender el proceso de Pirovano et al. [2]. Como resultado se generó el proceso VR-TEP (Virtual Reality - Therapeutic Exergames Process) el cual apoya a los ingenieros en el desarrollo de *exergames* enfocados en la rehabilitación física. Por lo que a su vez el producto generado complementa al tratamiento brindado por los fisioterapeutas a sus pacientes.
- **Definición y selección de la muestra:** Para la evaluación del proceso se definió un cuasi-experimento y un caso de estudio, cada uno con una muestra representativa para la investigación. De esta manera se asegura que el escenario para evaluar el proceso cubra mayor parte del área de estudio y artefactos necesario para el desarrollo de la investigación. Para el cuasi-experimento se seleccionó a estudiantes de último año de la carrera de Ciencias de la Computación e ingenieros de la misma área. En cambio, para el caso de estudio, se seleccionaron dos fisioterapeutas especialistas en rehabilitación.
- **Recolección de datos:**

Con los participantes seleccionados se llevó a cabo el cuasi-experimento y el caso de estudio, obteniendo datos tanto cuantitativos (mediante la aplicación de cuestionarios) y cualitativos (a través de una entrevista) para la validación del proceso. En el primer caso, los resultados se enfocan en una actividad del proceso VR-TEP (diseño del juego), mientras que en el segundo los resultados van dirigidos al *exergame* generado a partir de la aplicación de todas las actividades del proceso.
- **Análisis de datos:**

Se realiza a partir de los resultados obtenidos de la fase anterior. Sobre los resultados del cuasi-experimento se generaron reportes estadísticos que evidenciaron la aceptación del proceso por parte de los estudiantes e ingenieros. Respecto al caso de estudio, la retroalimentación brindada por los fisioterapeutas sirvió para validar que el producto

generado a partir del proceso que es de interés para aplicaciones clínicas con pacientes reales.

- **Elaboración del reporte de resultados:** Se muestran los resultados y las conclusiones en el capítulo final.

1.5. Estructura del documento

Se distribuye el aporte de esta investigación en siete capítulos, como se muestra en la Figura 1.2, organizados del siguiente modo:

1. **Introducción:** Se explora, los antecedentes del problema, la motivación y la solución propuesta, e incluye la hipótesis y los objetivos tanto generales como específicos.
2. **Marco teórico:** Se recopila la teoría esencial y estudios relevantes relacionados con el tema seleccionado, con el propósito de dar claridad sobre los conceptos fundamentales acerca de los juegos serios, *exergames*, realidad virtual, entre otros.
3. **Estado del arte:** Esta parte del documento ofrece una revisión de la literatura publicada, destacando la evolución de los *exergames* y la realidad virtual, como en las metodologías más destacadas para su desarrollo y diseño.
4. **Proceso VR-TEP para el desarrollo de exergames terapéuticos:** En este capítulo se establece un proceso para la realización de un *exergame* terapéutico utilizando RV, indicando todos los pasos a detalle, como los artefactos de entrada y salida.
5. **Instanciación del proceso VR-TEP:** Con el proceso propuesto, se realiza la instanciación de un *exergame* con la ayuda de un experto en el dominio de la fisioterapia.
6. **Evaluación del proceso VR-TEP:** Para determinar si se han cumplido los objetivos y la hipótesis, se lleva a cabo un cuasi-experimento de acuerdo al proceso propuesto para determinar si es correcto. Adicionalmente, se aplica un caso de estudio con la ayuda de expertos en el campo de la rehabilitación física para determinar si la instancia descrita en el capítulo anterior y el proceso sugerido cumplen con los objetivos de los ejercicios terapéuticos planteados por un fisioterapeuta experto en el dominio.
7. **Conclusiones y trabajos futuros:** Para finalizar, en dicha parte del documento se discuten las conclusiones alcanzadas en la investigación, abordando la validez de la hipótesis establecida y la verificación del cumplimiento de los objetivos. Adicionalmente, podrán

revisarse las recomendaciones para trabajos futuros en esta área.

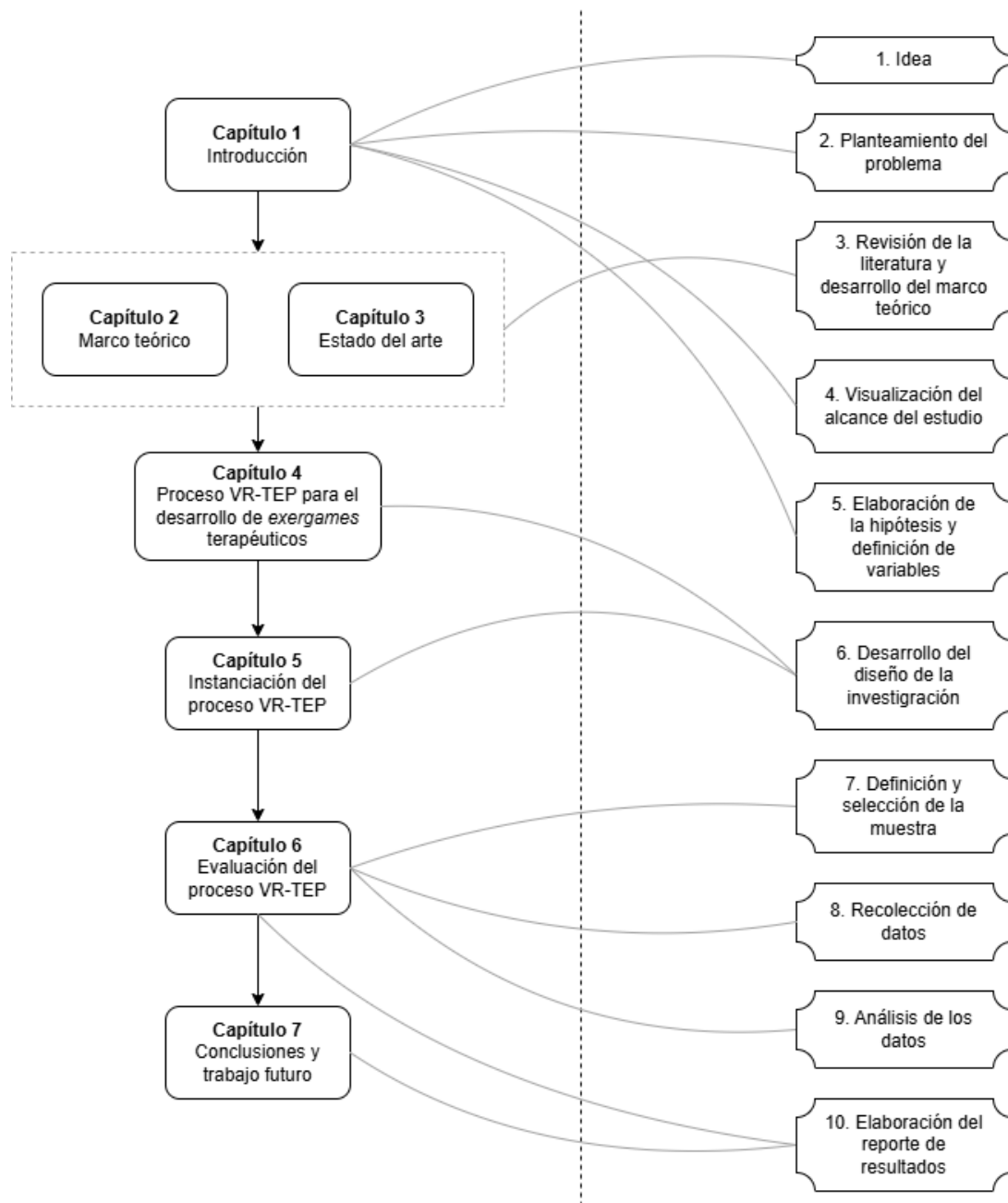


Figura 1.2: Metodología representada en los capítulos del trabajo de titulación. Elaboración propia.

Se adjuntan las referencias y anexos con el material complementario al final del documento (Ver Anexos 7.2).

2. Marco Teórico

Para una mayor claridad sobre las bases del presente trabajo, el marco teórico se divide en cinco áreas específicas: juegos serios, exergames y rehabilitación (explica que son los exergames y su conexión con el ámbito de la rehabilitación), realidad virtual, gamificación y metodologías para el proceso de ingeniería de software (conceptos necesarios para entender el desarrollo y validación del proceso para exergames terapéuticos).

2.1. Juegos serios

Los juegos serios se desarrollan con una finalidad más allá del entretenimiento [11]. Además, estos juegos permiten que el jugador se exponga a un entorno que ofrece un contenido que se emana de un conocimiento o experiencia, que puede ser para bienestar, educación o salud [20]. Lo que llegaría a diferenciar a un juego serio de uno tradicional es su enfoque en tener un propósito más allá de lo lúdico.

2.1.1. Exergames

Dentro de los juegos serios se encuentran los *exergames*, los cuales son videojuegos diseñados con el fin de hacer más gratificante y agradable a la actividad física algo, generando en cada individuo la motivación y el estímulo adecuado en el tiempo empleado [14], combinando la actividad física con la experiencia del juego [20]. La convergencia entre propósito y actividad física gratificante llega a ser interesante para planteamiento de soluciones aprovechando las ventajas de este tipo de videojuegos.

2.2. Exergames y rehabilitación

Los *exergames* o videojuegos de ejercicio llegan a aportar un propósito sin descartar el sentido lúdico en distintas aplicaciones. Esta sección aborda como en el campo de la rehabilitación estos videojuegos se relacionan, llegando finalmente a la definición de exergames terapéuticos.

2.2.1. Rehabilitación

La rehabilitación, de acuerdo a la OMS, se describe como una serie de intervenciones diseñadas para mejorar la funcionalidad y reducir la discapacidad en la interacción con el entorno de una persona con problemas de salud [21]. De este concepto, podemos derivar en la rehabilitación física, que se centra en la reducción de la discapacidad de las habilidades físicas de un individuo con un conjunto de intervenciones diseñadas.

2.2.2. Exergame terapéutico

La tecnología ha permitido avances en áreas como la medicina, ingeniería, entre otras. En el área de la actividad física, a diferencia del ejercicio tradicional, los *exergames* presentan importantes ventajas, al permitir adaptar diferentes niveles de dificultad de ejercicios específicos [22]. Por otro lado, centrándose en el área de la rehabilitación, los *exergames* han sido evaluados para el tratamiento de condiciones médicas como el Parkinson, mejorar el equilibrio en adultos mayores, la rehabilitación cardíaca y la recuperación motora tras un accidente cerebrovascular [23].

Con esta base, Pirovano et. al. define a los *exergames* terapéuticos como uno que *"soporta todos los objetivos primarios y secundarios definidos para un ejercicio"* [2]; esto se puede explicar de forma que los objetivos primarios se refieren a las acciones que debe realizar un individuo y los objetivos secundarios especifican como deberían hacerse (definiendo restricciones o limitantes). Además, Pirovano et al. señalan que un TE se puede apreciar como un método efectivo y seguro para la rehabilitación del paciente, siempre que cumpla con todos los requisitos de un ejercicio adecuado, que pueden definirse en los objetivos primarios y secundarios.

2.3. Realidad Virtual

Permitir a los usuarios interactuar con un entorno virtual generado por computadora en tiempo real es a lo que se refiere la tecnología de la realidad virtual (RV). [24]. La RV es una fusión de tecnologías que ofrece a los usuarios una experiencia inmersiva única. Esta tecnología integra elementos electrónicos y de simulación avanzada para crear un espacio virtual. Sus tres características fundamentales: inmersión, interacción e imaginación, son esenciales para su atractivo [25].

2.3.1. Tipos de Realidad Virtual

Existen distintas categorías de RV, mismos que varían dependiendo el tipo de inmersión que ofrecen, por ende el tipo de interacción con el usuario. Estos se clasifican en:

- Inmersivos: Se refiere a tecnologías que proporcionan una experiencia en primera persona a través de un visor montado en la cabeza (HMD - *Head Mounted Display*).
- No-Inmersivos: Los usuarios interactúan con entornos virtuales a través de dispositivos como pantallas de computadora o tabletas.
- Semi-inmersivos: En este tipo de RV, los usuarios tienen una experiencia parcialmente inmersiva. Por lo general, se utilizan monitores grandes o proyecciones para ofrecer una sensación de estar dentro del entorno virtual, pero aún pueden ver parte del mundo real alrededor de ellos [26].

Esta definición sienta las bases para comprender la relación entre la RV y otras tecnologías emergentes. Por ejemplo, la realidad aumentada (AR) muestra una combinación de imágenes reales y virtuales, permitiendo interacciones gráficas que responden a las acciones del usuario en tiempo real. Por otro lado, la realidad mixta (MR) combina lo mejor del mundo real y el virtual [27].

2.3.2. Dispositivos utilizados en terapias con RV

Los sistemas de realidad virtual son diseñados para crear ambientes visuales interactivos [25]; los dispositivos RV permiten interactuar con dichos ambientes. Dentro de estos dispositivos, se pueden clasificar como dispositivos de entrada y salida.

Aquellos dispositivos que sirven para capturar los movimientos de un usuario se consideran dispositivos de entrada y pueden ser guantes de datos, joysticks o rastreadores de movimiento [25]. Dentro de estos dispositivos, se encuentran varias opciones, como lo son la detección de movimiento de extremidades (Leap Motion) [22] o el cuerpo completo (Microsoft Kinect) [2], dispositivos con acelerómetros o giroscopios como los smartphones, o cámaras que apliquen visión por computador para la estimación de poses [28]. Incluso existen dispositivos especializados como el *Nukawa* [29], el cual es un dispositivo destinado para la rehabilitación de miembros inferiores.

Por otro lado, los dispositivos de salida que se utilizan son: HMD (*Head-Mounted Display*),

CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), gafas RV y audífonos [25]. Estos dispositivos se enfocan en desplegar los entornos virtuales al usuario de un dispositivo RV.

2.3.3. Entornos Virtuales

Un entorno virtual o digital es un espacio generado por computadora que simula la apariencia de un entorno físico real [27]. En el contexto de RV se define como una representación digital tridimensional de un lugar o escenario que los usuarios pueden explorar e interactuar, estos pueden ser entornos realistas hasta mundos completamente imaginarios y fantásticos [30].

2.3.4. Escenarios Virtuales

Un escenario virtual se define como el conjunto de todos los elementos generados por dispositivos de realidad virtual dentro de un entorno digital. Estos escenarios se manifiestan como una amalgama de componentes y circunstancias que representan una parte particular o situación dentro de ese entorno virtual [26].

2.3.5. Herramientas y programas de RV

Motores de Juego

Los motores de juego son un conjunto de sistemas o programas de software que facilitan el desarrollo de un videojuego sin necesidad de modificar el código [31]. Los motores de juego se pueden usar para propósitos específicos, como un género en específico, o de propósito general, los cuales abarcan un género amplio de juegos.

Unity

Unity es uno de los motores de juegos que más predomina y se conoce dentro de la industria. Este motor permite a los desarrolladores implementar sus proyectos en más de 20 plataformas, lo que amplía su alcance a miles de millones de dispositivos [32]. Unity ofrece una gama bastante completa de herramientas y servicios para la creación, el lanzamiento y mucho más [33].

En cuanto a la realidad virtual, Unity es ampliamente utilizado para desarrollar experiencias de realidad virtual debido a su capacidad para crear entornos 3D interactivos [34]. Los desarrolladores pueden usar Unity para diseñar escenarios, animar personajes, añadir sonidos y mucho más [33].

2.3.6. Videojuegos de realidad virtual

Al hablar de formas de entretenimiento, es imposible no destacar a los videojuegos. Según Frasca G., [35] incluye cualquier forma de software de entretenimiento por computadora, usando cualquier plataforma electrónica y la participación de uno o varios jugadores en un entorno físico o de red. Estos juegos suelen tener objetivos específicos, reglas predefinidas, y ofrecen a los jugadores la posibilidad de tomar decisiones y enfrentar desafíos dentro de un entorno digital [17].

La realidad virtual se refiere a una tecnología informática que genera un entorno tridimensional simulado o artificial, presentado al usuario de manera que imita la realidad y estimula el cerebro de los pacientes, haciéndoles creer que están en un mundo artificial [17]. En el contexto de los videojuegos, esto implica el uso de dispositivos como visores y controladores que permiten a los jugadores interactuar con el entorno virtual de una manera más directa y envolvente. Los videojuegos de realidad virtual ofrecen una definición visual y auditiva de alta calidad, aprovechando la tecnología para crear mundos tridimensionales detallados y realistas [36].

2.4. Gamificación

Se conoce como gamificación a incorporar elementos de diseño de juegos en productos o contextos no lúdicos para hacerlos más atractivos, divertidos y motivadores [37]. El uso de este implica la adherencia de mecánicas y planteamientos de los juegos, donde se busca involucrar a usuarios.

En el ámbito de la gamificación, la identificación de elementos clave es crucial para entender cómo influyen en la experiencia e interacción en el juego. Estos elementos incluyen recursos, estructuras narrativas y otros factores que son fundamentales comprender en el diseño y aplicación de estrategias de gamificación. [7]

2.5. Metodologías para el proceso de ingeniería de software

La integración de *exergames* terapéuticos y el desarrollo de videojuegos con realidad virtual han dado lugar a metodologías innovadoras, algunos siendo usados para la mejora en el campo de la rehabilitación. Una estas en la de Pirovano para el desarrollo de *exergames* terapéu-

ticos que se tomará como base del proceso que se desarrolló, la que se explicará a mayor detalle a continuación.

2.5.1. Exergaming y rehabilitación: Una metodología para el diseño de exergames seguros y terapéuticos

Pirovano et al. [2] describen una metodología de 4 pasos (Figura 2.1) a fin de diseñar exergames terapéuticos, efectivos y seguros, los cuales están destinados a identificar requisitos de los ejercicios. Estos requisitos de ejercicios no solo identifican las metas de la terapia, sino restricciones también. Estos se detallan en las siguientes etapas: definición del ejercicio, virtualización, diseño del juego y metas secundarias.

- **Definición del ejercicio:** Con la meta de la terapia establecida, se escoge un conjunto de ejercicios para cubrir las necesidades de la terapia escogida.
- **Virtualización:** Las metas primarias del ejercicio son implementadas en un ejercicio virtual (VE - *virtual exercise*) definiendo requisitos de entrada (*tracking*) y de salida (*feedback*) mediante elementos gráficos simples y especificando mecanismos de interacción, teniendo en cuenta las restricciones de retroalimentación con respecto a los objetivos secundarios.
- **Diseño del juego:** El VE se transforma luego en un verdadero exergame al agregar todos los elementos de juego.
- **Metas secundarias:** Se manejan los objetivos secundarios de manera independiente, lo que finalmente culmina en un exergame terapéutico.

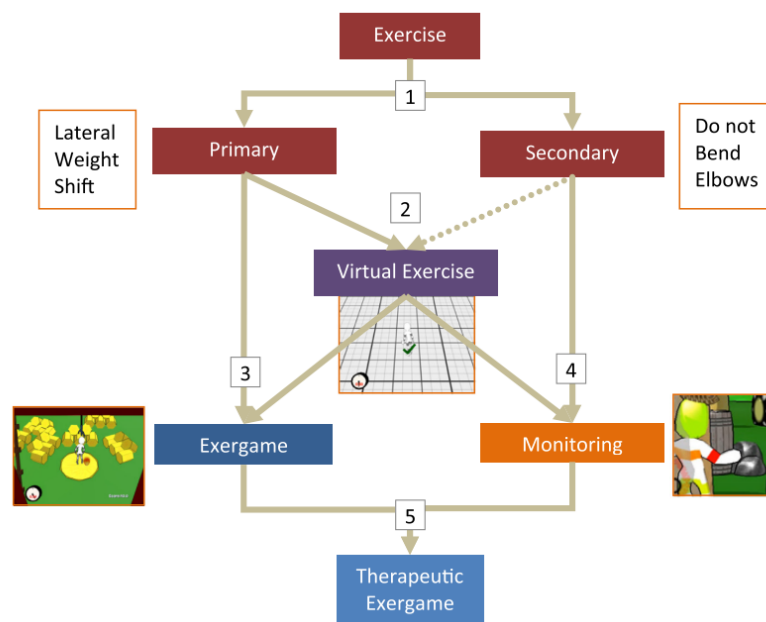


Figura 2.1: Metodología para el desarrollo de exergames terapéuticos de Pirovanno et al.[2].

3. Estado del arte

Las soluciones que existen relacionadas con el desarrollo de *exergames* con realidad virtual se exploran en este capítulo, en donde se analiza una variedad de trabajos y artículos académicos, brindando una perspectiva mayor sobre este campo emergente y las soluciones que ofrecen en la terapia y rehabilitación física. En la sección 3.1 se explora el crecimiento y desarrollo de las nuevas tendencias en este campo, proporcionando un contexto histórico y una perspectiva sobre cómo han evolucionado estas innovaciones. Posteriormente, en la sección 3.2 nos enfocamos en examinar y comparar las distintas metodologías, propuestas y aplicaciones existentes referentes en este ámbito.

3.1. Evolución de los exergames

Con el lanzamiento de Nintendo Power Pad en 1988, que marcó uno de los primeros ejemplos de videojuegos que promovían la actividad física [38], se demostró el potencial que tienen los videojuegos para fomentar un estilo de vida más activo. Esta innovación abrió nuevas posibilidades en el uso que se pueden dar a estas tecnologías como en el campo de la salud y bienestar. Además, a partir de la década de los 90, los estudios empezaron a investigar cómo la tecnología, especialmente la realidad virtual, podría mejorar la eficacia, los resultados y la motivación en la rehabilitación [39]. Esta línea de investigación ha ido creciendo desde 1996, resaltando el potencial transformador de la RV en los métodos terapéuticos [13].

Por otra parte, un salto significativo en el desarrollo de los exergames ocurrió en 2006 con el lanzamiento del Nintendo Wii [40]. Esta consola, junto con la Wii Fit y posteriormente el Microsoft Kinect, abrió nuevas posibilidades para el uso de videojuegos en la rehabilitación física, ofreciendo una forma de ejercicio más dinámica y atractiva que combinaba la terapia con el juego.

En 2016, Michelle Pirovano propuso una metodología para el diseño de exergames terapéuticos que son efectivos y seguros. Este enfoque enfatiza en el desarrollo de juegos que no solo son atractivos, sino que también cumplen con objetivos terapéuticos específicos, garantizando la seguridad de los pacientes [2].

La pandemia de COVID-19 en 2019 fue un catalizador para nuevas formas de fisioterapia. El confinamiento y las restricciones de movimiento pusieron de manifiesto la necesidad de métodos de entrenamiento y terapia en línea, acelerando la adopción de exergames y tele-

rehabilitación [24].

La integración de la RV en la rehabilitación también ha sido un avance relevante. Estudios como el de Hoeg et al., [13] en RV demuestran cómo la socialización y la colaboración en entornos virtuales pueden mejorar la motivación y la efectividad de los programas de rehabilitación, especialmente entre los adultos mayores.

Hoy en día, los exergames se han diversificado para atender a una amplia gama de condiciones, desde la esclerosis múltiple hasta la parálisis cerebral [41]. Con tecnologías emergentes como la RV, la realidad aumentada (AR), y el enfoque en la personalización de los programas de ejercicio, los exergames terapéuticos están abriendo nuevas posibilidades en el campo de la rehabilitación y la terapia.

3.2. Trabajos relacionados

Dentro de la rehabilitación física mediante el uso de exergames y realidad virtual, se han desarrollado múltiples enfoques innovadores que reflejan la evolución de esta tecnología. Estos desarrollos no solo han mejorado la calidad de los exergames como herramientas terapéuticas, sino que también han ampliado su aplicabilidad en entornos clínicos y domésticos. Esta sección explora varios estudios y desarrollos clave en el campo, proporcionando una base sólida para la implementación de un prototipo funcional en el contexto de la rehabilitación física de alta calidad.

Tras realizar una exhaustiva revisión de la literatura, se ha priorizado un estudio dividido en dos enfoques principales: uno centrado en la búsqueda de investigaciones que orienten el diseño de exergames y el otro enfocado específicamente en el diseño de exergames para rehabilitación utilizando RV.

En el curso de esta revisión, se han identificado diversas investigaciones relacionadas con el diseño de exergames. La publicación más antigua data del año 2011, mientras que la más reciente es del año 2023. Los detalles y resultados de estas investigaciones pueden consultarse en la Tabla 3.1 y en la Tabla 3.2.

Diseño de exergames

Estudio	Directrices de diseño	Uso de metodología, proceso o framework	Diseño centrado en usuario	Enfocado en la rehabilitación	Enfocado en Realidad Virtual	Directrices de gamificación
[42]	X					
[43]	X			X		
[44]	X					
[45]	X		X		X	X
[46]	X					
[47]	X					
[48]	X		X		X	

Tabla 3.1: Criterios de trabajos relacionados con exergames

El estudio de Aloba et al., [42] destaca los elementos que existen en un sistema exergame y cuál es más atractivo para los niños. En este estudio resalta la importancia de metas y la retroalimentación que estos presentan. Entre los elementos identificados se encuentran la variación de ejercicios, metas y desafíos como límite de tiempo y obstáculos, los cuales aumentan el enganche al juego. Además, se enfoca en la retroalimentación visual mediante animaciones y sugiere la inclusión de penalización cuando no se realiza un ejercicio de manera adecuada. Estos elementos ayudan a mantener el interés y motivación de los niños, haciendo que el ejercicio tenga una experiencia positiva, dinámica y gratificante.

Adicionalmente, Tahmos et al., [43] muestran la importancia que existe en diversos movimientos, pensando en las necesidades de adultos mayores con diversos déficits. Este estudio destaca que mantener la motivación durante el entrenamiento es importante para las terapias. Señala una falta de estandarización en intervenciones con exergames. Sobre todo, enfatizan en que puede existir la oportunidad para que diseñadores y desarrolladores trabajen en sinergia con personal clínico para que los exergames sean más robustos y dirigidos a adultos mayores.

También Matjeka et al., [45] presentan una metodología que incorpora la gamificación en talleres de co-diseño, orientados en la creación de exergames. Buscando mantener cualidades

fisioterapeutas esenciales mediante la participación activa tanto de expertos de diseño y desarrolladores de exergame como de profesionales de la salud en el ámbito de la rehabilitación. Por otro lado, Ghisio et al., [47] describen un sistema basado en el diseño participativo, el cual requiere la integración de diversas partes interesadas, incluyendo médicos, terapeutas e ingenieros. En este estudio resalta la importancia de definir claramente los objetivos, la metodología de diseño participativo y los requisitos de la plataforma, además de la necesidad que tiene la retroalimentación para crear estructuras interactivas y analizar la respuesta del paciente. En conjunto, ambos enfoques subrayan la importancia de la colaboración de expertos en la salud, expertos en el proceso de diseño y desarrollo de exergames.

De la misma forma, Baldassarre et al., [44] propone un marco de trabajo basado en *Model Drive Software Engineering*, centrando en el diseño de exergames que optimizan la experiencia de usuario. Existen aportes en el campo de la interacción, como Gerling et al., [46] que destaca la importancia de elementos y mecanismos adecuados para una navegación efectiva en los juegos, sugiriendo que una interfaz de usuario simple y retroalimentación motivacional son fundamentales. Además, recomiendan que los juegos sean ajustables en aspectos como el tamaño de la fuente y la dificultad, permitiendo adaptarse a las necesidades individuales. Yoo et al., [48] también abordan la personalización, resaltando la importancia de un modelo de usuarios y el ajuste de la dificultad, así como la incorporación de un entrenador virtual que envíe mensajes motivadores durante el ejercicio. En conjunto, todos estos estudios enfatizan la necesidad de personalización y retroalimentación para la creación de exergames efectivos y atractivos, adaptados a las necesidades que presenta cada usuario.

Diseño de exergames con RV

Estudio	Directrices de diseño	Uso de metodología, proceso o framework	Diseño centrado en Usuario	Enfocado en la rehabilitación	Enfocado en Realidad Virtual	Directrices de gamificación
[40]				X		
[25]					X	
[15]	X	X	X	X	X	
[13]	X			X	X	
[49]	X	X	X	X	X	

[50]	X		X	X	X	
[2]	X	X		X		
[51]	X	X	X	X		X
[52]				X	X	
[53]	X			X	X	
[54]	X	X		X		
[18]	X			X		
[22]	X			X	X	
[17]	X			X	X	
[55]	X			X	X	
[28]	X				X	
[56]	X	X	X	X		X

Tabla 3.2: Criterios de trabajos relacionados con exergames y RV

Un ejemplo notable es el estudio de Pirovano et al., [2] que propone una metodología detallada para el diseño de exergames terapéuticos. Este proceso de cuatro pasos que incluye: definición del ejercicio, virtualización, diseño del juego y objetivos secundarios. Este enfoque requiere una estrecha colaboración entre equipos clínicos y de Tecnologías de la información y comunicación (TIC) para asegurar la efectividad y seguridad de los exergames. Sin embargo, el estudio no presenta una distinción entre los dispositivos de despliegue de los *exergames* terapéuticos, a pesar de que puede existir una diferencia sustancial entre el uso de dispositivos de uso cotidiano como un teléfono inteligente o un dispositivo especializado como uno de realidad virtual.

Calle et al., [56] presenta la generación de un *exergame* terapéutico extendiendo la metodología de Pirovano et al., [2] para entornos móviles y web; sin embargo, este enfoque posee diferencias que no podrían aplicarse a la RV. Además, esta metodología ha sido probada únicamente desde el punto de vista de fisioterapeutas con el *exergames* resultante siguiendo su metodología, por lo que el punto de vista ingenieril queda desprovisto.

Por otra parte, la investigación de Chen et al., [25] se centra en la evaluación ergonómica

de la RV, destacando problemas relacionados con el hardware y software de RV en términos visuales, fisiológicos y cognitivos. La importancia de mejorar la experiencia del usuario en RV es subrayada por este estudio, enfocándose en optimizar el diseño ergonómico para reducir problemas como la fatiga visual y el mareo. Además, propone la necesidad de un diseño más centrado en el usuario y de adoptar un modelo de diseño basado en factores humanos para futuras investigaciones y desarrollos en RV.

Otro trabajo interesante es el de Hoeg et al., [39] que destaca la importancia de la gamificación y los juegos serios en la motivación de los pacientes jóvenes durante la rehabilitación en casa. Los resultados sugieren que la inclusión de estas técnicas en los sistemas de rehabilitación a distancia puede mejorar significativamente el bienestar y plenitud en la calidad de vida de los pacientes, alentándolos a participar activamente y de manera consistente en sus programas de rehabilitación. Además, se identifica el desarrollar metodologías y dispositivos que permitan una adaptación y personalización eficaces de los ejercicios de rehabilitación como algo necesario, acorde a las necesidades individuales de cada paciente.

Los estudios de Shah et al., [15], Hoeg et al., [13] y Hoeg et al., [49] destacan la importancia de la colaboración en el diseño de soluciones para la rehabilitación, enfatizando en la participación de las partes interesadas que involucra los desarrolladores de software, fisioterapeutas con el fin de comprender y entender las necesidades o requisitos del usuario, para de mejorar la motivación y la adherencia al tratamiento. Por su parte, Shah et al., [15] implementa un método de co-diseño que incluye la identificación y adaptación de ejercicios terapéuticos mediante una lluvia de ideas, seguido de revisiones y modificaciones para poder diseñar un exergame seguro para la rehabilitación. Asimismo, Hoeg et al., [49] resalta la gamificación e interacción social como factores clave en la rehabilitación motora mediante aplicaciones de RV, recalcando estos elementos para la motivación y socialización en el proceso de rehabilitación.

Tobaiqi et al. [16] destaca el uso de exergames con RV en la rehabilitación de niños con parálisis cerebral (PC), un trastorno del neurodesarrollo que afecta al movimiento y la postura de los pacientes. Este estudio destaca el uso de RV como una modalidad novedosa en la fisioterapia que combina diversión y motivación con actividad física, lo que permite realizar movimiento en un entorno seguro e inmersivo, donde puede interactuar con objetos y escenarios virtuales. Mejorando la adherencia, el aprendizaje, la participación y el disfrute. Esta investigación destaca cómo el uso de la terapia con RV es más efectiva que la fisioterapia convencional.

Cabe destacar que el estudio de Git et al. [57] muestra resultados favorables en ejercicios de equilibrio, marcha y funcionalidad de miembros superiores. Estudios como el de Agmon

et al.,[40] destaca la viabilidad y seguridad de utilizar exergames, como Nintendo Wii fit, para mejorar el equilibrio de adultos mayores. También se resalta la importancia de investigaciones ergonómicas para abordar problemas que afectan la experiencia de usuario en RV, como señala Chen et al.,[25].

A su vez, Elena et al., [58] examina cómo los exergames pueden ofrecer una alternativa efectiva para mejorar la calidad de vida mediante diversas intervenciones de rehabilitación física. Se destaca que se han realizado nueve estudios utilizando equipos no inmersivos, cuatro utilizando equipos semi-inmersivos y solo un estudio utilizando equipos totalmente inmersivos. El estudio fue llevado a cabo con personas que padecen enfermedades de Parkinson, enfatizando las características de la intervención, entorno, frecuencia y duración de la intervención.

La propuesta de Gmez-Portes et al., [51] analiza el criterio del tipo de comunicación empleada en terapias que utilizan exergames. Esta comunicación puede ser tanto sincrónica como asincrónica. Además, el estudio aborda los distintos paradigmas de interacción, como la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (AR) y el uso de interfaces de usuario convencionales. Se examina también el uso de interfaces naturales de usuario basadas en la voz, destacando los dispositivos principales y secundarios empleados. El estudio contempla si existe un método de desarrollo adaptativo para los pacientes, la generación automática de juegos y la incorporación de técnicas de gamificación.

Por otra parte, Ismail et al.,[53] explora el uso de la plataforma MIRA para diseñar sesiones de rehabilitación personalizadas para pacientes, teniendo en cuenta su capacidad y necesidades específicas. Se destaca la importancia de controlar la tolerancia, la dificultad y el rango de movimientos durante estas sesiones. Además, se enfatiza la necesidad de contar con variables de configuración que puedan ajustarse para alinear las características individuales del paciente con las de otros pacientes similares, se recurre a las herramientas ReComS y ReComS++ para gestionar estas características con mayor precisión. El enfoque ReComS se emplea para integrar el algoritmo K-NN con la técnica Filtrado Colaborativo (CF), lo que facilita la comprensión del comportamiento personal de los pacientes y la provisión de recomendaciones individualizadas para la rehabilitación. Por otro lado, el enfoque ReComS++ se utiliza para perfeccionar la predicción y el aprendizaje de las características específicas del paciente, mejorando así la calidad de las intervenciones de rehabilitación.

Otro trabajo interesante es el presentado por WisKerke et al., [50] que determina el enfoque óptimo de los exergames de RV para la terapia de equilibrio con personas con trastornos neurológicos, específicamente accidente cerebrovascular y esclerosis múltiple (EM). Se utiliza el

análisis RASH para crear un orden jerárquico de los exergames de equilibrio en RV existentes. Donde muestra los ejercicios usando un sistema basado en reconocimiento de movimiento,

Asimismo, Campo-Prieto et al., [26], presenta un estudio detallado sobre la utilización de dispositivos de realidad virtual (RV) en intervenciones de rehabilitación. El trabajo destaca los aspectos como dispositivos usados, frecuencia y duración de las sesiones y tipo de entorno virtual, enfatizando la importancia de desarrollar tareas que se adapten específicamente a las necesidades de la población objetivo. Este enfoque personalizado es crucial para maximizar la eficacia de las intervenciones en diferentes entornos y sesiones de rehabilitación.

Finalmente, Vallejo et al., [54], presentan un enfoque sistemático para la generación automatizada de exergames. Este proceso comienza con la definición precisa del ejercicio, la cual toma en cuenta las partes específicas del cuerpo del paciente involucradas en el proceso de rehabilitación, así como la habilidad particular que se pretende desarrollar. Posteriormente, se establecen los mecanismos de interacción entre el paciente y el sistema de rehabilitación, se definen los métodos de retroalimentación y motivación para garantizar la participación activa del paciente y se especifican las métricas que se utilizarán para medir el progreso del mismo. Finalmente, se lleva a cabo la generación del exergame.

El análisis de los estudios proporciona una visión integral sobre las estrategias y enfoques empleados en el diseño de aplicaciones terapéuticas basadas en *exergaming* y realidad virtual. La mayoría de los estudios presente en la Tabla 3.2 (13) presentan recomendaciones de principios de diseño, lo que destaca la importancia atribuida a la calidad y efectividad del diseño en estas aplicaciones. Por ejemplo, investigaciones como [15] ofrecen directrices específicas para garantizar un diseño centrado en el usuario, un enfoque fundamental para enriquecer la experiencia del usuario y la eficacia terapéutica.

Otros estudios presentes en la Tabla 3.2 (5) se centran en la presentación de *frameworks*, métodos o metodologías para el diseño de exergames. Esta orientación metodológica, evidenciada por trabajos como Hoeg et al., [49], subraya la necesidad de abordar el diseño de manera sistemática y rigurosa, lo que puede contribuir a la eficiencia y la calidad de las aplicaciones terapéuticas.

En contraste, un número menor de estudios (4) hacen uso de metodologías de diseño ya existentes, como el diseño centrado en el usuario. Este enfoque, adoptado por diversas investigaciones, reconoce la importancia de involucrar activamente a los usuarios como al fisioterapeuta en el proceso de diseño para garantizar que las aplicaciones satisfagan sus necesidades y preferencias de manera efectiva.

En resumen, la diversidad de enfoques y estrategias empleadas en los estudios analizados refleja la complejidad y la multidisciplinariedad involucradas en el diseño de aplicaciones de terapia basadas en *exergaming* y realidad virtual. Estos estudios destacan la importancia de considerar diversos factores, como los principios de diseño, la gamificación, la retroalimentación y las necesidades del usuario, para desarrollar soluciones efectivas y centradas en el paciente. Si bien algunos estudios validan soluciones específicas de *exergames* de rehabilitación, no proporcionan información general sobre un proceso que guíe al Ingeniero de Software paso a paso, para la creación de *exergames* con realidad virtual de manera efectiva. Además, no existe una solución que indique cómo diseñar el juego para motivar al paciente. Debido a la falta de consenso sobre la gamificación, se propone una actividad que guíe al ingeniero en el diseño de *exergames* con RV, considerando varios aspectos, incluyendo la retroalimentación y los ambientes inmersivos que son de suma importancia dentro de los entornos virtuales.

4. Proceso VR-TEP para el desarrollo de *exergames* terapéuticos

La conceptualización para cada actividad del proceso para el desarrollo de *exergames* terapéuticos con realidad virtual, denominado VR-TEP (*Virtual Reality Therapeutic Exergame Process*) se presenta en este capítulo. Se ha desarrollado como una secuencia de actividades, utilizando SPEM 2.0 (*Software and System Engineer Method*), un lenguaje de meta-modelado, con el propósito de generar una estandarización y facilidad de entendimiento. Este proceso se comprende como una expansión del procedimiento planteado por Pirovano et. al. (explicada en la Sección 2.5.1) aplicada a la realidad virtual.

4.1. Proceso planteado

El proceso propuesto, denominado VR-TEP e ilustrado en la Figura 4.1, tiene como objetivo orientar el diseño de *exergames* terapéuticos con realidad virtual. Utilizando SPEM 2.0, el cual es un lenguaje de meta-modelado, se plasma este proceso que cuenta con 6 actividades (con sus propias tareas cada una), las cuales son: definición del usuario y ejercicios, definición de requisitos de métricas y dispositivos, virtualización del ejercicio, diseño del juego, integración de objetivos secundarios y monitoreo y, finalmente, validación del *exergame* terapéutico.

4.2. Roles involucrados

Los actores principales que participan en la creación de un *exergame* terapéutico se describen como roles. Cada rol está encargado de diferentes funciones y es necesaria la participación de uno o más roles por cada actividad. En esta sección se explican las funciones que desempeñan dichos roles, así como una descripción de cada uno.

4.2.1. Fisioterapeuta/Experto en el dominio de rehabilitación

El fisioterapeuta o experto en el dominio de la rehabilitación es una persona con dominio en el área de la rehabilitación. Este rol está presente en los primeros pasos del proceso, el cual entrega un conjunto de ejercicios, enfocados a la rehabilitación de un paciente, detallado en objetivos primarios y secundarios y participa, posteriormente, en definir los requisitos de *feedback* y *tracking*. Finalmente, este rol valida que el *exergame* desarrollado se considere terapéutico, es decir, seguro para el uso de un paciente.

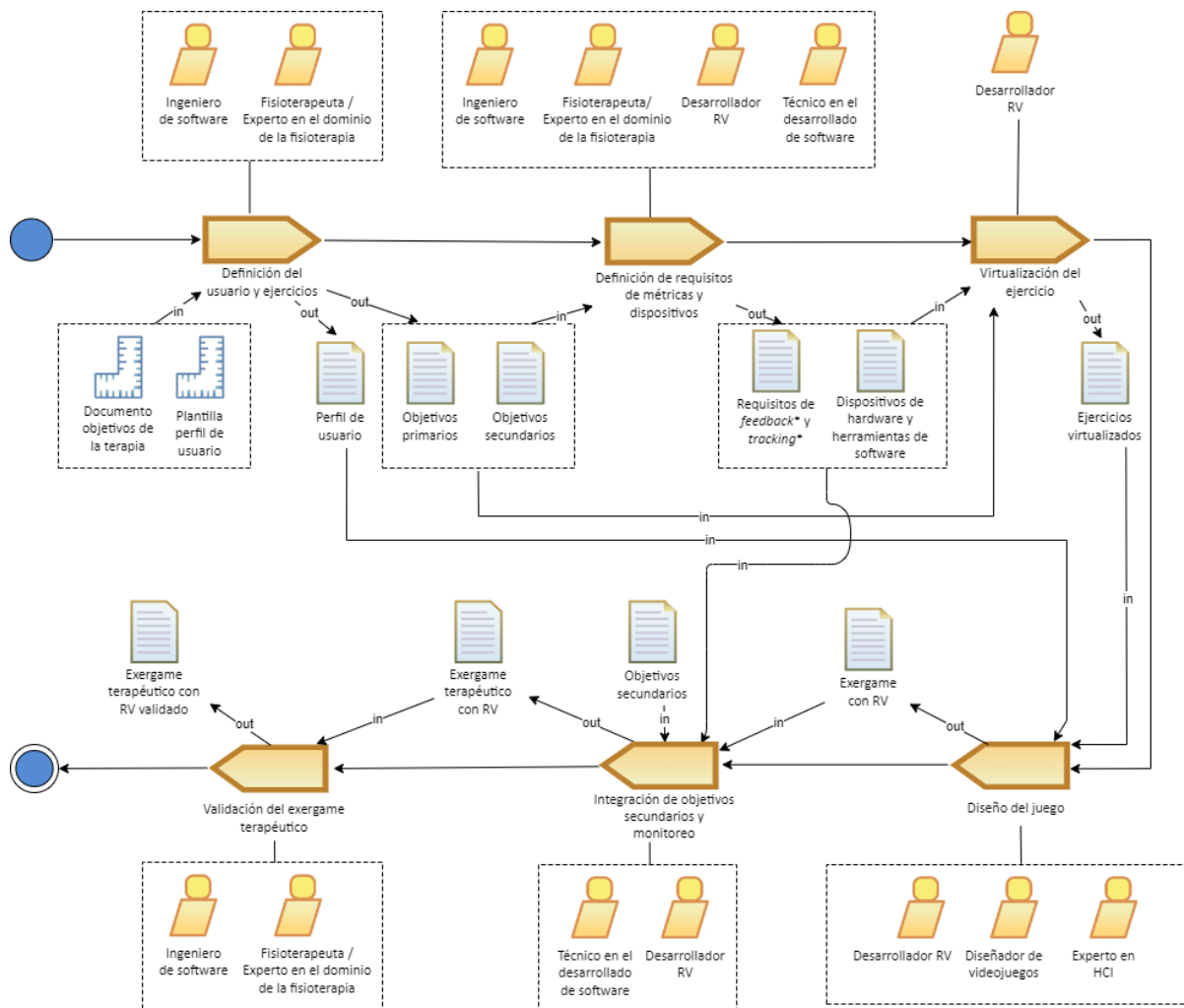


Figura 4.1: Proceso VR-TEP para el desarrollo de *exergames* terapéuticos con realidad virtual

4.2.2. Ingeniero de software

Es aquel responsable de aplicar procesos de ingeniería y llegar a soluciones de software. Participa en la etapa de definición del ejercicio, como un agente en la toma de requisitos. Este rol también se encarga de definir los requisitos de métricas y dispositivos, presentando soluciones de software junto a otros roles para cumplir en el desarrollo del *exergame* que se plantea, específicamente los roles de: experto en el desarrollo de realidad virtual, técnico en el desarrollo de software y experto en el dominio de la rehabilitación.

4.2.3. Experto en desarrollo de realidad virtual

Este rol desempeña funciones de codificación y desarrollo de realidad virtual. Participa en la actividad de virtualización del ejercicio, ayudando en la definición de dispositivos de hardware

y software que involucren realidad virtual y en el desarrollo del mismo. También está presente en desarrollar los elementos de gamificación brindados por el diseñador de videojuegos. Finalmente, se encarga de añadir e integrar las metas secundarias en caso de necesitarse con el rol de fisioterapeuta/experto en el dominio de rehabilitación.

4.2.4. Diseñador de videojuegos

Para el diseño de un *exergame*, este rol tiene como responsabilidades añadir elementos de gamificación a los ejercicios virtualizados para convertirlos en *exergames*. Elementos como el diseño de escenarios o definición de interacciones son un ejemplo de las responsabilidades de este rol.

4.2.5. Experto en HCI

Un experto en HCI (Interacción Persona-Computadora) tiene como responsabilidad elaborar una interfaz adecuada que sea óptima desde la perspectiva del usuario y coherente con la lógica del sistema [8]. Este rol se encarga de definir las interfaces y mecanismos de interacción adecuados para que las necesidades de los usuarios se satisfagan. Por tal motivo, este rol participa en la actividad del diseño del juego, se encarga de definir los elementos, mecanismos e interfaces que sean adecuados dentro del juego de realidad virtual.

4.2.6. Técnico en el desarrollo de software

Este rol se encarga de implementar los objetivos secundarios o métricas de monitoreo que no puedan codificarse por medio de realidad virtual. Participa, por ende, en las actividades de definición de requisitos de métricas y dispositivos para determinar las herramientas que se utilizarán en el desarrollo de software y en su implementación en la actividad de integración de objetivos secundarios y monitoreo.

4.3. Actividades del proceso

A mayor detalle, se explican cada una de las actividades descritas en la Figura 4.1, como las tareas que involucra cada actividad para el desarrollo de *exergames* terapéuticos con realidad virtual.

4.3.1. Definición del usuario y ejercicios

La primera actividad consiste en definir un arquetipo de usuario mediante el uso de una plantilla y detallar un conjunto de ejercicios, que será el conjunto de ejercicios que se llevarán al dominio de la realidad virtual por medio del *exergame* terapéutico. La actividad cuenta con 2 tareas, las cuales se muestran en la Figura 4.2.

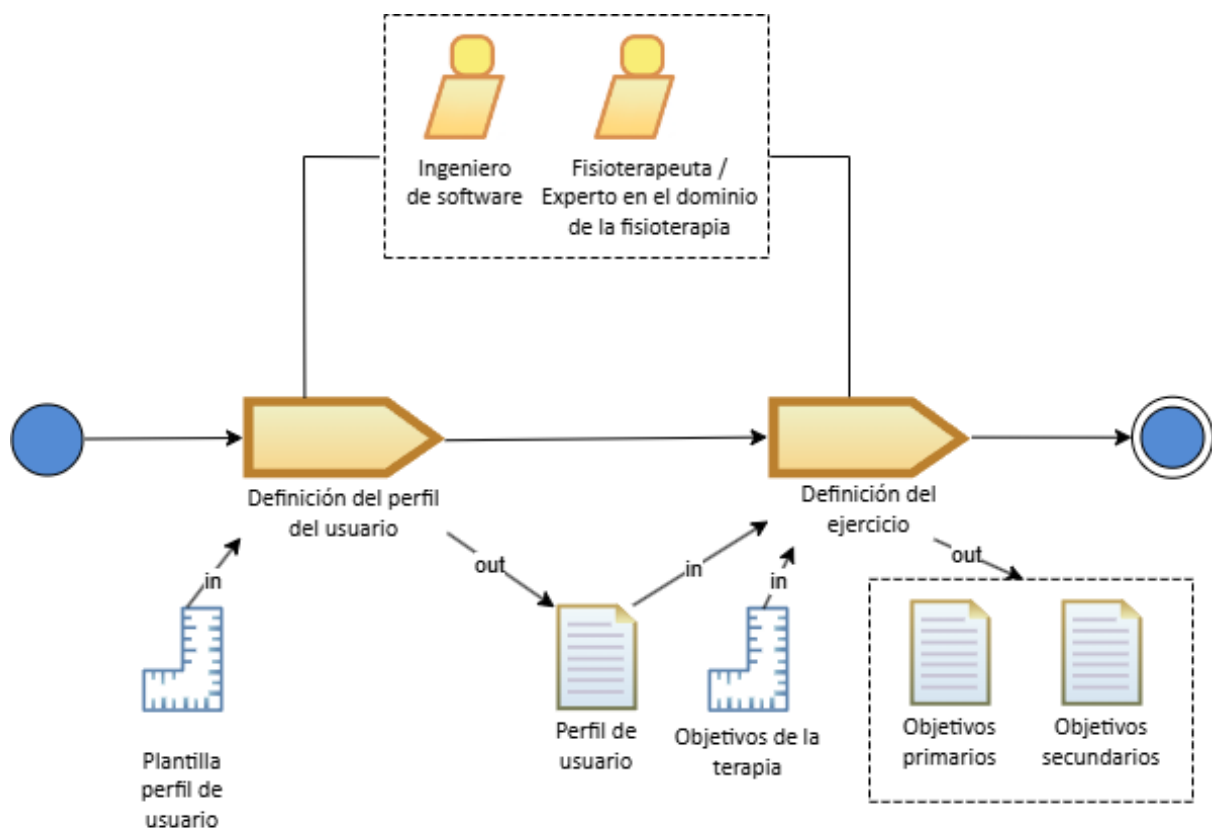


Figura 4.2: Tareas de la actividad *Definición del ejercicio*

Tarea: Definición del perfil de usuario

Basado en el trabajo realizado por Ferreira et al. [5], en el que se mencionan las "*Personas*"; una Persona es a un arquetipo hipotético de un usuario real, detallando sus metas, habilidades e intereses. Se ha construido una guía, basada en la técnica PATHY (Personas EmpATHY), desarrollada para ayudar a diseñar según las necesidades de los usuarios. Hemos utilizado este enfoque para construir una plantilla que define el perfil de usuario. La guía se puede apreciar en la Tabla 4.1, y la plantilla resultante se puede observar en la Figura 4.3

Para esta tarea, se hace uso de la plantilla de perfil de usuario, la cual se ha construido siguiendo las pautas de la guía mencionada anteriormente. Esta plantilla servirá para que el rol de *Ingeniero de Software*, junto con el rol de *fisioterapeuta/experto en el dominio de la rehabili-*

tación, definan el perfil de usuario y puedan adaptar el producto a sus necesidades específicas en el contexto de la terapia.

Nombre	Nombre de la persona.
Datos demográficos	Esta sección proporciona información relevante sobre la persona, incluyendo su edad, género, ocupación y lugar de residencia.
Objetivos	Los objetivos detallados que la persona espera lograr al utilizar el producto o servicio en cuestión.
Personalidad	Características individuales de una persona pueden influir en su interacción con un servicio (social, resiliente).
Biografía	Ofrece una descripción más detallada de la persona, incluyendo sus rutinas diarias, hobbies, intereses y relaciones personales cercanas. Esta información ayuda a comprender mejor las necesidades y preferencias de la persona.
Experiencias Tecnológicas	Se incluye un resumen de las experiencias previas de la persona con la tecnología, incluyendo los dispositivos que ha utilizado, la frecuencia de uso y las aplicaciones que prefiere. Esto proporciona información valiosa sobre su familiaridad y comodidad con la tecnología.
Miedos y Frustraciones	Aquí se identifican los aspectos que causan preocupación o ansiedad a la persona, así como sus principales frustraciones o áreas de insatisfacción.
Problemas	En esta sección se describen los problemas específicos que enfrenta la persona y que podrían ser abordados o resueltos mediante la aplicación o servicio que se está diseñando.
Necesidades	Se detallan las necesidades y requisitos específicos que la persona tiene en relación con el producto o servicio en cuestión, con el objetivo de resolver los problemas identificados anteriormente.

Tabla 4.1: Guía para definir el perfil del usuario. En esta guía se incluyen aspectos importantes a considerar para crear un perfil de acuerdo a los intereses y las necesidades del usuario. Basado en la técnica PaTHY [5]

Tarea: Definición del ejercicio

En esta tarea, para cubrir las necesidades de una terapia, se obtiene un conjunto de ejercicios concordantes con dicha terapia [2], estableciendo así los objetivos primarios y secundarios con base al conjunto de ejercicios.

Los objetivos primarios dictan lo que el paciente debe hacer, mientras que, los secundarios se centran en cómo lo debe hacer.

Sofia Jara

Estudiante de colegio. Amante de los viajes y la exploración. Pertenecer a actividades sociales que fomentan estos aspectos e.g. grupo de scouts.

Información personal:

Edad: 17
Género: Mujer
Estudio: Colegio
Localización: Cuenca
Ocupación: Estudiante

Objetivos:

- Recuperar la movilidad y el control del hombro izquierdo.
- Retomar actividades al aire libre.

Personalidad:

Social

Competitiva

Problemas

Recuperar la total funcionalidad de su hombro para volver a realizar sus actividades de socialización sin experimentar dolor. La lesión ha incrementado el estrés en su vida estudiantil.

Tecnología

Smartphone

Laptop

Smartwatch

Miedos y Frustraciones:

Claustrofobia (Miedo a espacios cerrados)

Necesidades

Optar por una solución tecnológica que le permitan realizar rehabilitación segura en casa.

Figura 4.3: Plantilla perfil del usuario-ejemplo. Elaboración propia.

Para esta tarea, el rol de *Fisioterapeuta/Experto en el dominio de la rehabilitación*, brinda el documento de objetivos de la terapia. Este rol puede desempeñarse en solitario para definir los objetivos primarios y secundarios; no obstante, puede desempeñarse conjuntamente con el *Ingeniero de Software*, que puede ayudarlo a detallar el documento en un proceso de toma de requisitos.

Dentro de esta actividad, únicamente como artefactos de entrada, se tiene el documento de objetivos de la terapia. Los artefactos resultantes de este son los objetivos primarios y objetivos secundarios.

Documento de objetivos de la terapia

El documento de objetivos de la terapia se adquiere del rol de *fisioterapeuta / experto en el dominio de la rehabilitación*. El documento debe rellenarse con los datos de la plantilla definida en el anexo 1. Este consta del dominio de la fisioterapia, habilidades que se busca entrenar, el objetivo de la terapia y descripción de la terapia; sirve como información sobre la terapia que se busca realizar y que se quiere lograr con ella. Adicionalmente, se tiene que rellenar de la manera más específica posible cada acción que debe realizarse para completar exitosamente el ejercicio. En la Tabla 4.2 se muestran los campos con descripciones detalladas.

Objetivos primarios y secundarios

Dominio	Área o conjunto de ejercicios a los que la terapia elegida apunta.
Habilidades de entrenamiento	Aspectos físicos en los cuales se desea enfocar. Ejemplos de estos pueden ser balance, resistencia, fuerza, movilidad, etc.
Objetivo de la terapia	Detalla la meta general que se busca con la terapia.
Descripción de cada ejercicio	Para cada ejercicio, son instrucciones detalladas de como se deben ejecutar, incluyendo restricciones. Las descripciones pueden ayudarse de una imagen, en caso de requerirse, de cada paso del ejercicio.

Tabla 4.2: Campos de la plantilla del documento Objetivos de la terapia (Anexo 1).

Los ejercicios primarios define la acción que el usuario debe realizar. Estas son asociadas al *gameplay* (mecánicas del juego) [2]. Estos deben definirse para cada ejercicio que se propone.

Por otro lado, los objetivos secundarios definen como el paciente debe lograr lo que la acción que debe realizar. Estas pueden ser indicaciones o restricciones en la ejecución del ejercicio. La importancia de considerar los objetivos secundarios radica en que la ejecución de ejercicios con movimientos erróneos podría resultar riesgoso para el paciente, incluso conduciendo a movimientos con compensaciones anómalas o posturas torcidas [2].

4.3.2. Definición de requisitos de métricas y dispositivos

Conocer los movimientos que hace un paciente y como los realiza es importante, pues sirven de indicadores de las acciones del paciente y su mejoría. Para esta acción es necesario definir métricas de rendimiento que indiquen acerca del progreso del paciente. Adicionalmente, es necesario el determinar las herramientas de software y dispositivos de hardware para ejecutar el *exergame* desarrollado, así como algunos dispositivos adicionales destinados para la captura de las métricas. Estas tareas se realizan en esta actividad, descritas en la Figura 4.4.

Tarea: Definir requisitos de entrada (*tracking*) y salida (*feedback*)

En la tarea se toma el artefacto de objetivos de primarios y secundarios y los transforma en un artefacto de salida que son los requisitos de *feedback* y *tracking*.

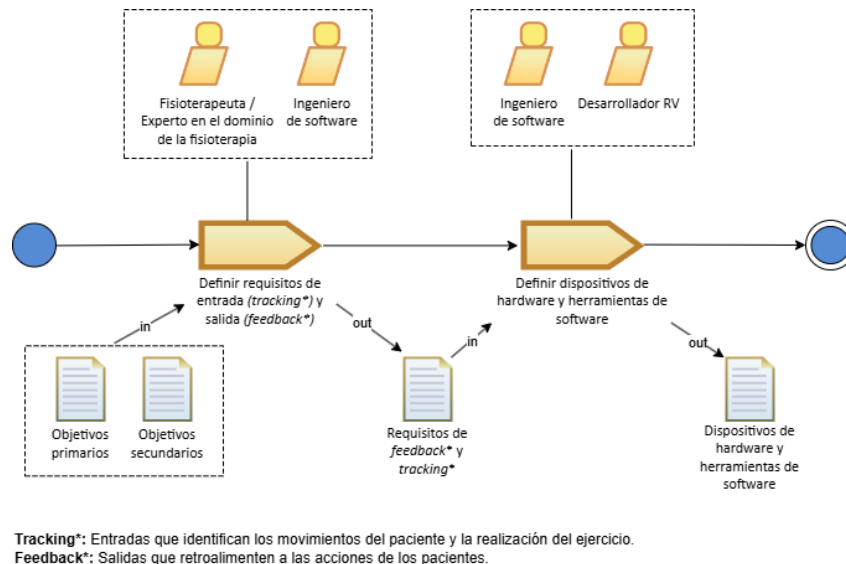


Figura 4.4: Tareas de la actividad *Definición de requisitos de métricas y dispositivos*.

Requisitos de feedback y tracking

Los requisitos de *feedback* y *tracking* sirven para registrar, monitorear y analizar el progreso del paciente. Estos surgen a partir de los objetivos primarios, secundarios y el conjunto de ejercicios y pueden coincidir o variar dependiendo de los objetivos de cada ejercicio. Los mismos se definen como:

- **Requisitos de feedback:** Son requisitos definidos en métricas que sirven como retroalimentación de las acciones o movimientos que ha realizado el paciente. Al ser importantes para el fisioterapeuta, pueden definirse con los terapeutas para evaluar el rendimiento del paciente [2].
- **Requisitos de tracking:** Son requisitos definidos en métricas que identifican las acciones del paciente. Determinan que es necesario monitorear acerca de los movimientos que el paciente está realizando.

Los roles involucrados son el *Ingeniero de Software* y *Fisioterapeuta/Experto en el dominio de la rehabilitación* que estarán encargados de, mediante reuniones, conversaciones u otro medio de intercambio de información, determinar estos requisitos.

Tarea: Definir dispositivos de hardware y herramientas de software

En este momento, con los requisitos de *feedback* y *tracking*, se decide que dispositivos de hardware y software se deberán utilizar para la interacción y el cumplimiento de los requisitos previamente establecidos. Esta actividad involucra al *ingeniero de software* que, conjunto al *desarrollador RV*, determinarán el software y hardware necesario (tomando en cuenta los

requisitos de *feedback* y *tracking*).

Dispositivos de hardware y herramientas de software

Estos dispositivos y herramientas definidos en esta sección permiten determinar todos los elementos que se utilizarán para el desarrollo y funcionamiento del *exergame* con realidad virtual. Dentro de estos debe considerarse lo siguiente:

- **Herramientas de software:** Se trata de software generado o usado para cumplir con los requisitos de *feedback* y *tracking*. En esta tarea se define un motor gráfico para el desarrollo de videojuegos con compatibilidad con realidad virtual. Otros componentes de software que se pueden considerar son aquellos desarrollados para la recolección de datos, como aplicaciones [22], redes neuronales o modelos de aprendizaje de máquina [59], incluso software que aplique técnicas que reconozcan los movimientos del paciente por medio de visión por computador [59].
- **Dispositivos de hardware:** Estos dispositivos son los encargados de ejecutar los dispositivos de software o de servir físicamente para la realización del ejercicio. Al ser este un proceso para el desarrollo de *exergames* terapéuticos con realidad virtual, se debería contar obligatoriamente con un dispositivo capaz de generar ambientes de realidad virtual, típicamente un dispositivo *head mounted display* o HMD. Estos dispositivos se mencionan más a detalle en la Sección 2.3.2.

Un punto a tomar en cuenta es que, para evitar la disconformidad en el paciente, se pueden considerar métricas y evaluaciones ergonómicas con el dispositivo HMD como lo son: presión de contacto con el conducto nasal, presión en el borde posterior de la oreja, torsión en la articulación del cuello, malestar térmico al calentarse el dispositivo, entre otras [25].

4.3.3. Virtualización del ejercicio

Esta actividad se encarga de virtualizar el conjunto de ejercicios escogidos previamente definido en objetivos primarios y secundarios. La acción de virtualizar, en este contexto, implica implementar en realidad virtual las mecánicas más básicas del juego, por lo que el rol del *diseñador de realidad virtual* se encarga de llevar a cabo esta sección. La virtualización (Figura 4.5) debe realizarse basándose en los objetivos primarios principalmente y tomando en cuenta a los objetivos secundarios [2] para dar así un conjunto de ejercicios virtualizados.

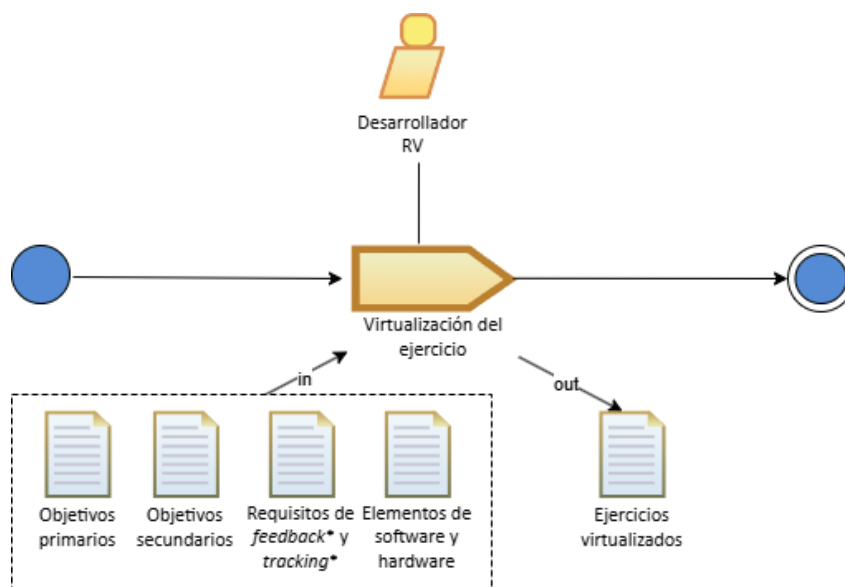


Figura 4.5: Tareas de la actividad *Virtualización del ejercicio*

Ejercicios virtualizados

Como resultado, se obtienen unos ejercicios virtualizados, que son los ejercicios planteados inicialmente en el documento de *Objetivos de la terapia 1* llevados al dominio de la realidad virtual. Estos se crean principalmente tomando los objetivos primarios (lo que el paciente debe hacer). Esto quiere decir que, cumplen primordialmente en permitir al paciente realizar los movimientos definidos en los objetivos primarios. Además, en la implementación de estos ejercicios virtualizados se debe tomar en cuenta la comunicación con los dispositivos de hardware o software adicionales que el dispositivo de realidad virtual no pueda cumplir. Es igual de importante no olvidar esta etapa de implementación que se debe añadir posteriormente los requisitos de *feedback* y *tracking*, por lo que la implementación también debe tomar esto en cuenta.

4.3.4. Diseño del Juego

En esta actividad de Diseño del juego (Figura 4.6), participan tres roles en el diseño del juego: el diseñador de videojuegos, el experto en Interacción Humano-Computadora (HCI), y el desarrollador de realidad virtual (RV). Cada uno de estos roles es esencial para dar forma a la apariencia y funcionalidad del juego. El diseñador de videojuegos es responsable de la narrativa y mecánica del juego, el experto en HCI asegura que la interfaz, mecánicas y la experiencia del usuario sean óptimas, y el desarrollador de RV implementa las tecnologías de realidad virtual. Juntos, estos roles colaboran en diversas tareas a lo largo del proceso de desarrollo,

culminando en la creación de un exergame inmersivo utilizando RV.

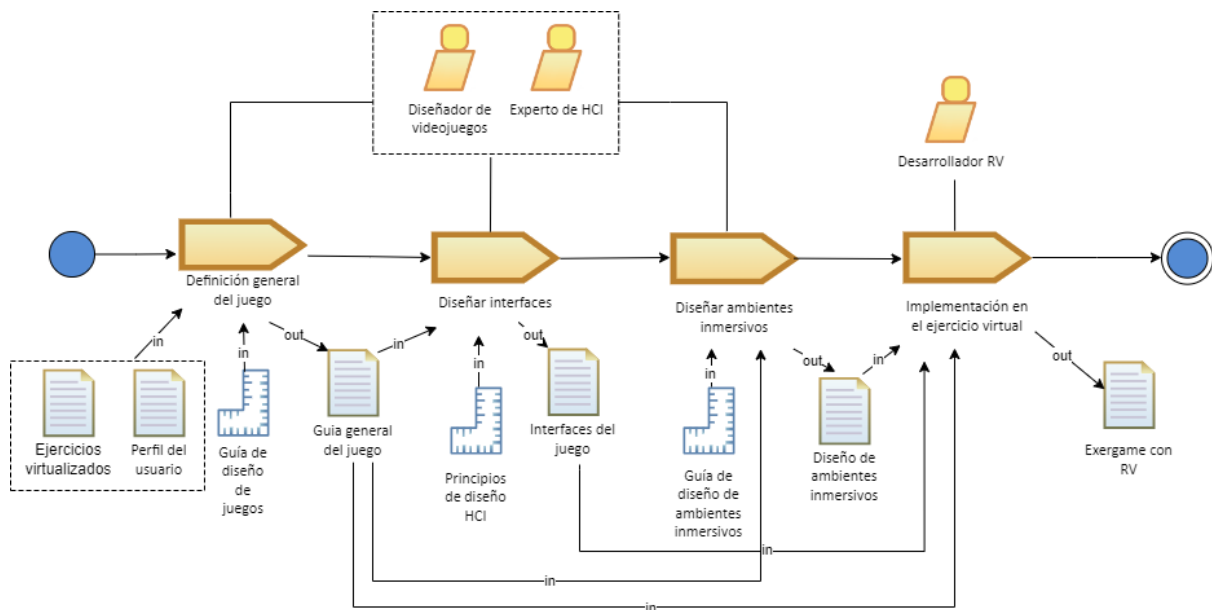


Figura 4.6: Tareas en la actividad *Diseño del juego*

Tarea: Definición general del juego

En esta tarea Definición general del juego, se hace uso de los ejercicios virtualizados que deben considerarse para el diseño del juego, ya que estos cuentan con las mecánicas básicas implementadas en la RV basadas en los objetivos del ejercicio de rehabilitación, es decir, lo que debe hacer en la terapia. El propósito de la tarea es integrar todos los elementos que componen el juego. En dicha tarea participa tanto del diseñador del juego como el experto en HCI. También se utiliza una guía de diseño de juegos, basada en las propuestas de Rogers [6] y Tondello et al., [7], la cual cuenta con varios elementos a considerar en el diseño como página de título, historia y jugabilidad, flujo del juego, personajes y controles, entre otros elementos que se pueden apreciar en la Tabla 4.3, así como en el perfil de usuario, para definir las pautas a considerar con la finalidad de proporcionar una grata experiencia al usuario.

Para lograrlo, es imperativo comprender tanto el objetivo terapéutico como el perfil del usuario. Esto implica conocer sus preferencias, necesidades, temores y frustraciones, con el fin de crear un diseño que se ajuste de manera efectiva al propósito del juego, generando una experiencia que favorezca los resultados deseados en el contexto terapéutico. Como resultado de esta actividad, tenemos un único artefacto de salida que corresponde a la guía general del juego.

Página de título	Se presenta un gráfico que captura la esencia del juego, preferible, un logotipo que encapsula la identidad del producto, que incluye el nombre del juego, su clasificación y audiencia objetivo.
Historia y jugabilidad	Premisa básica del juego, destaca elementos clave como el escenario y conflicto central de la narrativa. Descripción general de la jugabilidad que proporciona una visión general del flujo de juego
Flujo del juego	<p>Detalla cómo funcionarán los sistemas principales del juego, como puntos de experiencia, el dinero, la puntuación, mientras que el jugador interactúa en el juego. Para esta poder incluir estos elementos de manera que se adecuen al tipo de usuario, se hace uso de la gamificación de acuerdo al tipo de usuario propuesto por Tondello et al., [7].</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Socializador: Requieren interacción con los demás, les gusta crear conexiones sociales (Elementos sugeridos: Gremios o equipos, redes sociales, comparación social). ▪ Disruptor: Innovador, motivado por el cambio. (Elementos sugeridos: herramientas de desarrollo, plataformas de innovación, anonimato, juego anárquico) ▪ Jugador: Motivado por recompensas (Elementos sugeridos: Puntos, Insignias, Premios, tabla de clasificación) ▪ Triunfador: Buscan aprender nuevas cosas y mejorar. (Elementos sugeridos: Diversión intensa, aprendizaje, Desafíos, Misiones, progresión) ▪ Filántropo: Motivado por el propósito (Elementos sugeridos: Diversión seria, Intercambio de conocimientos, obsequios, colección y comercio) ▪ Espíritu libre: Les gusta crear y explorar. (Tareas exploratorias, jugabilidad no lineal, personalización, herramientas de creatividad y contenido desbloqueable)
Personaje(s) y controles	<p>Se presenta al protagonista y su descripción, características y actividades que debe realizar en el mundo de los juegos. Debe tener asignado control, resaltando los movimientos que puede ejecutar para enfrentar el desafío.</p> <p>Se recomienda la inclusión de un entrenador virtual como personaje [48], el cual cumple el objetivo de motivar al usuario durante el ejercicio.</p>

Jugabilidad y Plataforma	Hace referencia al tipo de juego que el jugador experimentará, el género que se enmarca (Conducción, disparos, etc.), la secuencia del juego como niveles, rondas o capítulos de historia. Se mencionan las características únicas de la plataforma que van a ser aprovechadas.
Mundo del Juego	Se describen los diversos entornos del jugador que explorará a lo largo del juego, junto con breves descripciones que resalten su relevancia y estado de ánimo que evocan.
Interfaz	Se detalla cómo el jugador interactuará con la interfaz del juego, incluyendo pantallas, música usada y las secciones que se muestran cómo navegará por la interfaz.
Mecánicas especiales de juego	Si corresponde. Se presentan las mecánicas únicas, especiales y cómo se utilizarán en el entorno del juego, como objetos, habilidades, etc.
Enemigos y Jefes	Si corresponde. Se describen los diferentes tipos de enemigos y jefes que el jugador enfrentará a lo largo de su aventura, incluyendo los ataques del jefe y cómo se relacionan con la historia del juego. Se detalla qué recibe el jugador por derrotar a estos desafíos.
Escenas de corte y material de bonificación	Se explica cómo se presentarán las escenas de corte dentro del juego, así como el material de bonificación. Se menciona cómo estos elementos contribuyen a la experiencia del jugador.

Tabla 4.3: Guía de diseño de juegos. Elaboración propia basada en Rogers [6] y Tondello et al., [7].

Tarea: Diseño de las interfaces

Dentro de esta tarea se involucra el experto en HCI y el diseñador de videojuegos, los cuales son responsable del diseño de una correcta interfaz que sea acorde al sistema y óptima para el usuario. Se tiene como entrada el documento guía general del juego que proporciona los aspectos a tomar en cuenta, mencionados en la Tabla 4.3, para el diseño del juego. Además, se utiliza la guía de principios de diseño de HCI, cuyo propósito es establecer pautas para la creación de interfaces para juegos de realidad virtual (RV) [8]. Esta guía proporciona directrices y sugerencias para diseñar interfaces. De acuerdo a Diaz et al., [8], estos son los principios de diseños que se deben considerar, los cuales podemos apreciar en la Tabla 4.4 y como resultado de esta tarea se genera las interfaces diseñadas para el juego, que incluye todas las pantallas, menús y elementos esenciales que permitan al usuario interactuar de manera intuitiva y eficiente con el juego.

Trabajar por la consistencia	En las interfaces, debe existir un mismo patrón donde las pantallas, los comandos y los menús presenten colores, ubicación de botones, tipografía y terminología uniformes.
Permite el uso de atajos a usuarios frecuentes	La interfaz tiene que permitir atajos que faciliten las tareas que los usuarios realizan habitualmente.
Proporciona comentarios informativos	Es necesario mantener informados a los usuarios sobre lo que ocurre en cada etapa del proceso y ofreciendo comentarios claros, relevantes y adaptados a la situación.
Diseña un diálogo para indicar la finalización	Las secuencias de diseño deben tener comienzo, un intermedio y finalización, haciendo evidente cuando una tarea ha terminado para el usuario.
Brinda una solución simple para la gestión de errores	Se debe diseñar la interfaz con el fin de prevenir errores en la mayor medida posible, garantizando que sea comprensible para el usuario, quien no podría saber cómo manejar cualquier inconveniente que se presente.
Permitir el revertir fácilmente una acción	Permite al usuario revertir una acción realizada por error, de manera que pueda recuperar rápidamente de una acción ejecutada por error.
Soporta un punto de control interno	Es necesario permitir la libertad para el usuario dentro del sistema, permitiendo que el usuario tenga el control del sistema, y no que el sistema controle al usuario.
Reduce la carga a corto plazo	No saturar el sistema de información, manteniéndolo lo más limpio posible. De este modo, el usuario podrá recordar y reconocer la información sin dificultad.

Tabla 4.4: Ocho principios para diseño HCI. Adaptado de Diaz et al.,[8].

Tarea: Diseño de ambientes inmersivos

El objetivo general de la tarea en cuestión es crear un ambiente inmersivo para aumentar la motivación durante el proceso de rehabilitación [14].

Para realizar dicha tarea, contamos con dos artefactos de entrada: el documento guía general del juego y la guía de diseño de ambientes inmersivos que proporciona recomendaciones de elementos que se deben considerar incluir para hacer que el entorno virtual tenga esa característica de inmersión, como resultado tenemos los ambientes inmersivos, que son los elementos que se debe incluir al exergame. En la Tabla 4.5, se presentan las recomendaciones de Neo et al., [9] descritas para el diseño de ambientes inmersivos:

Nivel de detalle	<p>Elementos ambientales comunes: Se sugiere que los entornos cuenten con elementos típicos y acorde al entorno real, o características específicas para aumentar la sensación de realismo.</p> <p>Texturas realistas: Las texturas basadas en productos reales deben aplicarse a objetos virtuales. Si se espera que se interactúe con los objetos del entorno, es importante el detalle en los objetos.</p> <p>Costos computacionales: Aumentar el nivel de detalle puede incrementar la inmersión, pero provoca una mayor exigencia a las características computacionales. Por lo tanto, requiere algoritmos computacionales más intensivos, lo que reduciría la tasa de fotogramas y, al final, afectaría la experiencia del usuario.</p>
Contexto	<p>Elementos contextuales: Identificar elementos contextuales necesarios y evaluar si se pueden incorporar de manera efectiva, como los elementos sociales y de interacción.</p> <p>Señales estacionales e instructivas: Las señales pueden proporcionar información relevante y facilitar la navegación. Estas pueden ser señales visuales o auditivas que guíen al participante dentro del entorno virtual.</p>
Señales sociales	<p>Avatares controlados por computadoras: Incluir avatares controlados por computadora puede mejorar el realismo. Es importante que estos avatares no distraigan innecesariamente a los participantes.</p> <p>Animación de interacciones sociales: Las interacciones deben ser animadas de manera apropiada, minimizando las discrepancias de movimiento. Las animaciones deben ser suaves y simular movimientos reales.</p>
Información sensorial no visual	<p>Retroalimentación háptica: Integrar elementos reales que proporcionen retroalimentación háptica (e.g. vibración).</p> <p>Señales auditivas: Incluir sonidos relevantes y realistas que puedan mejorar la inmersión y sumergirnos en el entorno simulado.</p> <p>Indicios olfativos: Poco comunes, pero se usan en estudios relacionados con la selección de alimentos.</p>

Tabla 4.5: Guía de ambientes inmersivos. Elaboración propia basada en Neo et al., [9]

Implementación en el ejercicio virtual

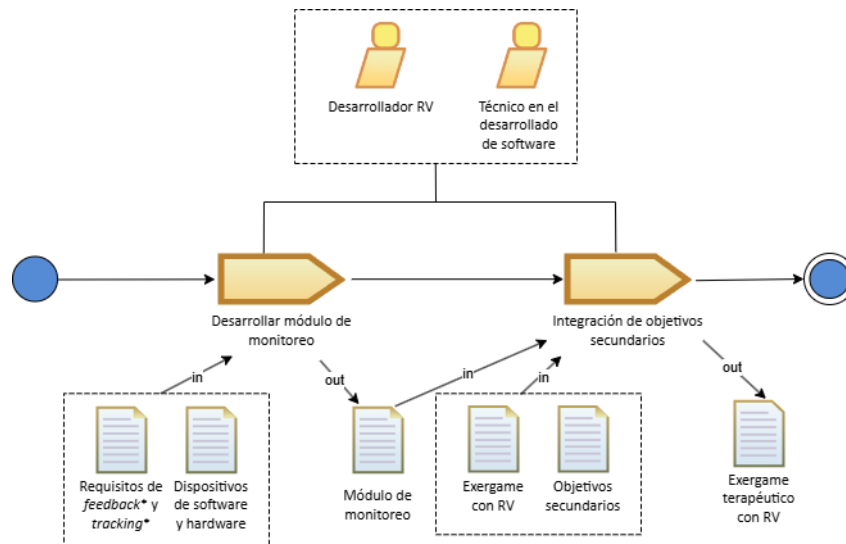


Figura 4.7: Tareas de la actividad *Integración de objetivos secundarios y monitoreo*.

Para la tarea en cuestión, el desarrollador se encargará de implementar todos los elementos descritos anteriormente en el exergame no terapéutico, utilizando como artefactos de entrada los documentos de guía de general del juego y ambientes inmersivos, así como las interfaces desarrolladas previamente. El resultado final será un exergame con realidad virtual, que busca crear una experiencia de juego atractiva y entretenida, con el objetivo de fomentar la adherencia del usuario al juego, mejorando su estado de ánimo y motivación. Aunque este exergame no se considera terapéutico, en vista de que falta integrar los objetivos secundarios y monitoreo.

4.3.5. Integración de objetivos secundarios y monitoreo

Siendo que se tiene el *exergame*, tras definirlo en la actividad anterior, se debe convertirlo en un *exergame* terapéutico (es decir, un *exergame* seguro de usar), es necesario implementar objetivos secundarios. Los objetivos secundarios fueron descritos en la Sección 4.3.1. De acuerdo a Pirovano et. al. [2], los objetivos secundarios se manejan mediante un módulo de monitoreo que de seguimiento que vigila las características extraídas de los datos de entrada [2]. Por esta razón, esta actividad (Figura 4.7) consiste en dos tareas, las cuales son el desarrollo del módulo de monitoreo y la integración de objetivos secundarios. El rol de *Desarrollador RV* y *Técnico en el desarrollo de software* son los encargados de este desarrollo o implementar su conectividad con el *exergame*.

Tarea: Desarrollar módulo de monitoreo

Este módulo de monitoreo permite que, con base en las acciones del paciente, se llegue a retroalimentar a este mismo para evitar movimientos no deseados o, en su defecto, detener el juego si es que estos movimientos incorrectos no cesan. Esto implica un desarrollo que puede llevarse a cabo por medio de la realidad virtual o, en caso de que no se pueda realizar o se necesite una mayor precisión, un desarrollo o implementación de software o hardware externo implementado por un técnico en el desarrollo de software e.g. un software que ejecute un modelo de reconocimiento de poses.

Exergame terapéutico con realidad virtual

Este es el resultado de añadir los objetivos secundarios al *exergame* con realidad virtual resultado de la actividad de *diseño del juego* y el módulo de monitoreo. Para este punto, el *exergame* cuenta con verificaciones que controlan o dan retroalimentación de que un paciente no llegue a violar los objetivos secundarios. Este también ejecuta respuestas ante alguna desviación en la correcta ejecución del ejercicio planteado. Esto evita que el paciente realice movimientos incorrectos e indicar o retroalimentar al paciente acerca de sus acciones en el juego.

4.3.6. Validación del *exergame* terapéutico

Finalmente, la última actividad (Figura 4.8) consiste en la validación del *exergame* terapéutico desarrollado. El papel del *Fisioterapeuta/Experto en el dominio de la fisioterapia* sirve para asegurar que el artefacto final de este proceso sea seguro y eficaz para el proceso de rehabilitación de los pacientes.

Exergame terapéutico con realidad virtual validado

Este es el resultado final del proceso, un *exergame* terapéutico que emplea realidad virtual, el cual puede ser usado por un fisioterapeuta/experto en el dominio de la fisioterapia, en sus sesiones de rehabilitación y está validado por este mismo como una herramienta segura y eficaz para el paciente, lo cual será un aporte importante adicional en su tratamiento.

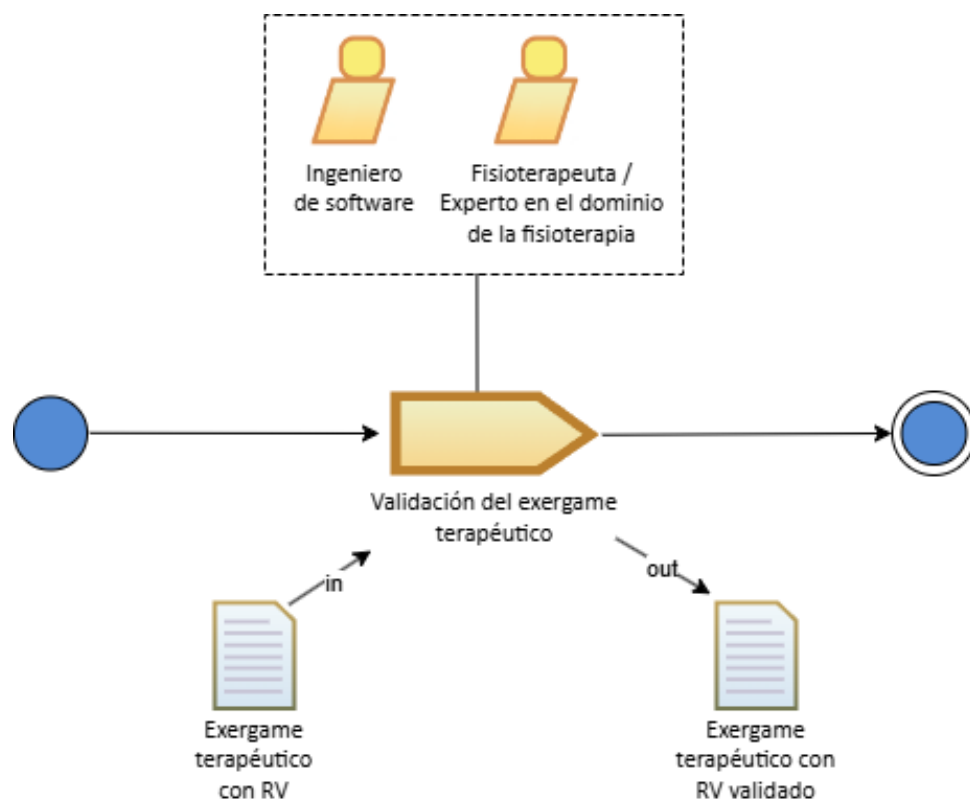


Figura 4.8: Tareas de la actividad *Validación del exergame terapéutico*.

5. Instanciación del proceso VR-TEP

Dentro de las articulaciones del hombro, se encuentra la articulación glenohumeral, la cual es una unión esférica entre el húmero y la escápula [60]. Su movilidad y control es crucial para varias actividades cotidianas o deportivas. En este capítulo se presenta una instanciación del proceso VR-TEP (Capítulo 4), enfocadas en la rehabilitación de la articulación del hombro. Esta instanciación, realizada con una persona experta en el dominio de la fisioterapia, se creó un *exergame* terapéutico. Este *exergame* servirá para mejorar el control motor de miembro superior (derecho), mediante la virtualización y gamificación de un ejercicio funcional de la articulación glenohumeral, para reintegrar a un paciente en sus funciones de la vida diarias.

5.1. Definición del perfil de usuario y ejercicios

La primera actividad incluye dos tareas. Estas tareas son la creación del perfil de usuario y el ejercicio. Al completar estas tareas, se creó el perfil de usuario del paciente y se definió el ejercicio para la rehabilitación de la articulación del hombro con objetivos primarios y secundarios.

5.1.1. Definición del perfil de usuario

Se definió con la colaboración de una persona experta en fisioterapia y un *Ingeniero de Software*, con el objetivo de identificar el arquetipo de paciente adecuado para utilizar el *exergame* terapéutico. El perfil de usuario resultante se muestra en la Figura 5.1, se desarrolló siguiendo las directrices presentadas en la Tarea 4.3.1.

5.1.2. Definición del ejercicio

Con el perfil de usuario del paciente y un documento de objetivo de la terapia (brindado por la persona experta en la fisioterapia basado en la plantilla 1) se definieron los ejercicios en objetivos primarios y secundarios en la plantilla de objetivos de la terapia.

Documento objetivos de la terapia

El documento de terapia, proporcionado por el experto en el dominio de la fisioterapia, detalla el objetivo de la terapia, conjunto a la descripción de esta y los ejercicios para la rehabilitación de la articulación del hombro; en este caso el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo

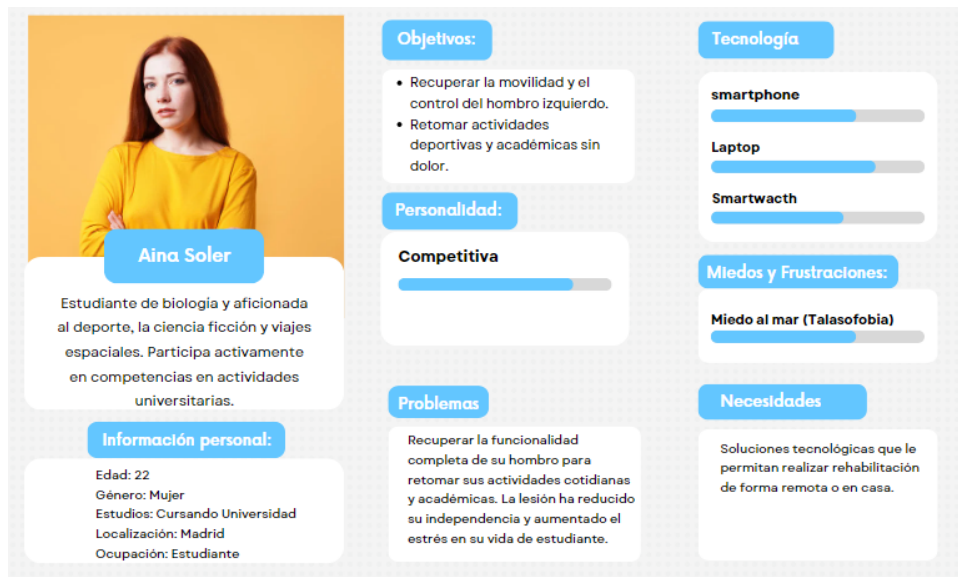


Figura 5.1: Perfil del usuario. Elaboración propia.

extendido. Este se rellenó por medio de reuniones con una persona experta en el dominio de la fisioterapia descrito en el anexo 2.

Objetivos primarios y secundarios

Los objetivos primarios, que determinan que debe hacerse y de acuerdo al documento de terapia, para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido, fueron:

- El paciente debe realizar la toma de un objeto colocado en extremo contrario (contralateral).
- El paciente debe dirigir el objeto hacia el centro a la altura de la nariz y regresar a su posición inicial.

Los objetivos secundarios, que dictan como debe realizarse el ejercicio y de acuerdo al documento de terapia, para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido, fueron:

- El paciente debe realizar una flexión de hombro a 45°, con una tolerancia de $\pm 10^\circ$.
- El paciente debe tener su codo totalmente extendido.
- El movimiento debe seguir la trayectoria inversamente para volver a la posición inicial.

5.2. Definir requisitos de métricas y dispositivos

Es esta actividad se realizaron dos tareas, necesarias para definir las métricas con las que se evaluará el desempeño del paciente y los dispositivos que se utilizarán en la rehabilitación de la articulación del hombro.

5.2.1. Definición de requisitos de *feedback* y *tracking*

Se definen los requisitos de *feedback* y *tracking* en forma de parámetros de entrada y salida. Estos parámetros se definieron conjunto con el rol del fisioterapeuta a fin de adaptar estas métricas para el ejercicio planteado, utilizando los objetivos primarios y secundarios del ejercicio.

Requisitos de feedback y tracking

Como artefactos de salida se obtienen los requisitos de *feedback* y *tracking*, los cuales servirán para evaluar la interacción del paciente en su proceso de rehabilitación del hombro. Estos se muestran en las Tablas 5.1 y 5.2 respectivamente.

Parámetros	Descripción	Unidad
Precisión del ángulo de abducción (promedio)	Precisión promedio en grados del hombro en movimiento de abducción tras completar el ejercicio	Grados (°)
Duración	Tiempo promedio transcurrido en las series, desde el inicio de la primera serie hasta el final de la última.	Segundos (s)

Tabla 5.1: Requisitos de feedback del ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.

5.2.2. Definir dispositivos de hardware y herramientas de software

Tanto los dispositivos que permiten emular la realidad virtual como artefactos de salida, se obtienen los requisitos de *feedback* y *tracking*, los cuales servirán para evaluar la interacción del paciente en su proceso de rehabilitación del hombro. Estos se muestran en las Tablas 5.3 y 5.4 respectivamente.

Dispositivos de hardware y herramientas de software

Parámetros	Descripción	Unidad
Ángulo de abducción (Precisión)	Precisión en grados del hombro en movimiento de abducción	Grados (°)
Distancia estiramiento:	Precisión en grados del hombro en movimiento de abducción	Grados (°)
Tiempo de prueba	Intervalo entre el inicio y el final de la interacción.	Segundos (s)
Tiempo de descanso	Intervalo entre el final de una interacción hasta el inicio de una nueva.	Segundos (s)
Tiempo total	Duración total del ejercicio.	Segundos (s)

Tabla 5.2: Requisitos de tracking para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.

5.3. Virtualización de los ejercicios

Tras la obtención, los objetivos primarios y secundarios, los requisitos de *feedback* y *tracking*, y los elementos de software y hardware, el desarrollador de realidad virtual se encargó de llevar a un entorno virtual el ejercicio definido en las etapas previas.

Al virtualizar el ejercicio, se llevó los objetivos primarios como mecánicas que el paciente debe realizar; se desarrolló con *Unity* en una primera instancia el software de *exergame* terapéutico en realidad virtual. En cuanto al hardware, se utilizó el que le permitía al paciente interactuar con los entornos virtuales, los cuales son el dispositivo HMD y el control de realidad virtual. Finalmente, durante todo este proceso se tomó en cuenta (Aunque no se implementan aún) los objetivos secundarios, requisitos de *feedback* y *tracking*.

Ejercicio virtualizado

El ejercicio virtualizado resultado de esta actividad aparece en la Figura 5.2. Este ejercicio consiste en el desplazamiento de un objeto colocado en una base hacia una caja, ambos que se encuentran delante a él, en un escritorio. Con esto se definen las mecánicas del juego, definidas en los objetivos primarios.

Software	Descripción	Función
Software de <i>exergame</i> terapéutico en realidad virtual.	Exergame desarrollado con Unity.	Ejecutar y visualizar el exergame terapéutico con realidad virtual. Medir el ángulo de abducción. Medir los tiempos de prueba, descanso y tiempo total del ejercicio.
Software de reconocimiento		

Tabla 5.3: Herramientas de software para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.

Hardware	Descripción	Función
<i>Head Mounted Display</i> (HMD)	Oculus meta quest 3	Ejecutar y mostrar al paciente el entorno del software de realidad virtual.
<i>VR controller</i>	Oculus meta quest 3 controller	Manejar las acciones del paciente en el software de realidad virtual.

Tabla 5.4: Dispositivos de hardware para el ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.

5.4. Diseño del juego

En esta actividad se recibe como entrada el ejercicio virtualizado como se puede ver en la Figura 5.2 y el perfil de usuario en la Figura 5.1. Con base en estos artefactos, se diseña un juego que sea seguro y permita al paciente realizar el ejercicio de manera gratificante, se incluyen elementos que se deben considerar dentro de un juego y dentro de la RV.

5.4.1. Definición general del juego

El documento general del juego resultado de esta tarea se puede ver en la Tabla 5.5

Página de título	Desafío del capitán: rehabilitación de hombro.
------------------	--

Historia y jugabilidad	Se centra en un capitán que debe recuperar por completo la movilidad de su brazo, por tanto, debe realizar ejercicios de sostener una pequeña esfera redonda y poner en la caja para ir recuperándose.
Flujo del juego	De acuerdo al tipo perfil del usuario se lo ha clasificado como jugador. El elemento de gamificación seleccionado es por puntos.
Personaje(s) y controles	El personaje principal es el capitán, se jugara en primera persona, en donde el capitán con el control tendra que agarrar una esfera y sin soltar ese botón llevara el objeto de un extremo al otro sin moverse de su asiento, colocarlo en una caja soltar el botón para que suelte la esfera. Para el personaje secundario será un robot que dará indicación al capitán de como realizar el ejercicio. E igualmente hará gestos que felicitarán al capitán cuando realice bien un ejercicio.
Jugabilidad y Plataforma	El tipo de juego es por rondas, en la que debe cumplir con un número de repeticiones de colocar la bolita dentro de la caja. La plataforma en la que se piensa desplegarse el juego son gafas de realidad virtual. La cual permite que este juego sumerja al jugador a un escenario de primera persona.
Mundo del Juego	El entorno que se encuentra el jugador es dentro de una nave espacial, donde habrá una pantalla que indique el ejercicio. Una pantalla donde muestre los puntos ganados. La mesa donde aparecerá esferas y una caja al lado contrario de donde debe colocar las esferas.
Interfaz	Solo existirá una interfaz principal que nos permita iniciar el ejercicio, salir del juego y opción quitar la música de espacio que existe de fondo.
Mecánicas especiales de juego	No se implementan.
Enemigos y Jefes	No se implementan.
Escenas de Corte, Material de Bonificación	Se presenta mediante una pantalla pequeña donde muestre sus puntos realizados, y un telón que indique puede retomar la siguiente ronda cuando se sienta listo para la rehabilitación.

Tabla 5.5: Guía de general del juego. Elaboración propia.

5.4.2. Diseñar interfaces

Para la realización de esta tarea se hizo uso de los principios de HCI que se puede observar en la Tabla 4.4 donde se ha aplicado diferentes principios como trabajar por la consistencia, donde la interfaz debe ser clara, botones y tipográfica llevan un diseño uniforme y adecuado al

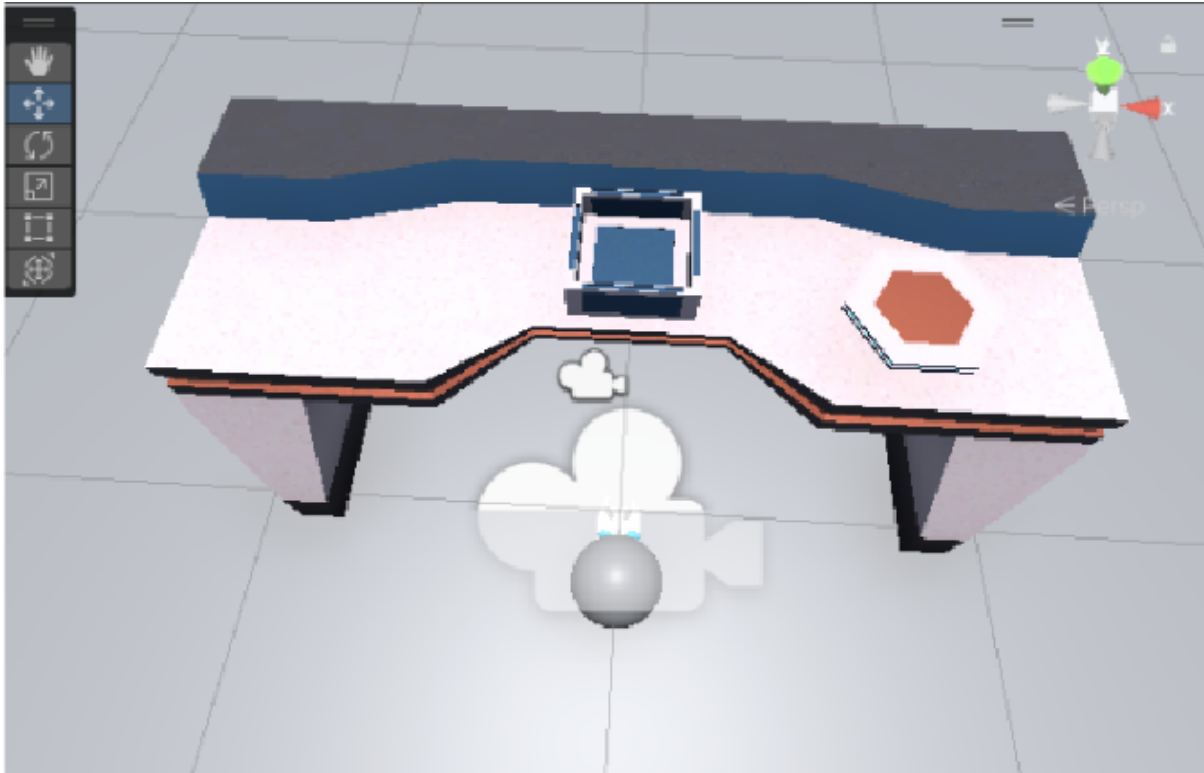


Figura 5.2: Virtualización del ejercicio de desplazamiento lateral con brazo extendido.

contexto, la interfaz es simple por lo que permite al usuario tener control del sistema. También busca mantener la información lo más simple posible a fin de reducir la carga a corto plazo (Figura 5.3).

Además, para retroalimentar al usuario, el color del botón cambia ligeramente para indicar cuando el usuario se encuentra en dicha opción, el cual se puede apreciar en la Figura 5.4.

Por otro lado, en la Figura 5.3 se observa que al usuario se le permite tomar control al realizar la acción de desactivar el volumen del juego cuando este lo requiera.

5.4.3. Diseñar ambientes inmersivos

En el diseño de ambientes inmersivos, se ha utilizado la guía presentada en la Tabla 4.5, en la cual se ha otorgado mayor importancia a los elementos ambientales comunes. No obstante, también se consideran otros elementos seleccionados, que se detallan en la Tabla 5.6.

Nivel de detalle	<p>Elementos ambientales comunes: Los elementos que deben estar dentro del escenario virtual deben ser acorde al contexto de una nave espacial, donde los objetos que se incluyan como la caja y la esfera debe tener un diseño futurista con características similares al entorno y ambientado al mismo escenario, dentro de ello se hay que incluir texturas metálicas.</p> <p>Costos computacionales: Se ha priorizado la optimización del juego, por lo que no se considera incluir texturas detalladas para que no interrumpa el flujo del juego</p>
Contexto	<p>Elementos contextuales: Incluir un avatar con forma de robot que acompañe al participante para guiar en el ejercicio y animar en el mismo.</p> <p>Señales estacionales e instructivas: Incluir pantallas mostrando que debe realizar el jugador y señales visuales de alerta cuando realiza mal el ejercicio.</p>
Señales sociales	<p>Animación de interacciones sociales y Avatares controlados por computadoras: Incluir un avatar con forma de robot que acompañe al participante para guiar en el ejercicio y animar en el mismo.</p>
Información sensorial no visual	<p>Retroalimentación háptica: Cuando el usuario va a tomar la esfera, el mando debe vibrar para indicar que puede sujetar el mismo.</p> <p>Señales auditivas: El sonido implementado dentro del juego es debe ser sonido suave enfocado al espacio.</p>

Tabla 5.6: Diseño de ambientes inmersivo. Elaboración propia

5.4.4. Implementación en el ejercicio virtual

En esta tarea se implementa todos los elementos que nos indican los artefactos generados en tareas previas, resultando en un *exergame* no terapéutico con elementos de juego en la realidad virtual, como se aprecia la Figura 5.5. Con el objetivo que el ejercicio virtual sea desarrollado con elementos que hagan atractiva la interacción y por ende estos faciliten en la rehabilitación del paciente, generando un ambiente en el cual la persona se sienta cómoda y motivada al realizar el ejercicio.

5.5. Integración de objetivos secundarios y monitoreo

Para la instanciación de esta tarea se debe convertir al *exergame* de desplazamiento lateral con brazo extendido en un *exergame* terapéutico. Para esto es necesario integrar los objetivos secundarios descritos en 5.1.2, por lo cual como primera tarea se desarrolló el módulo de

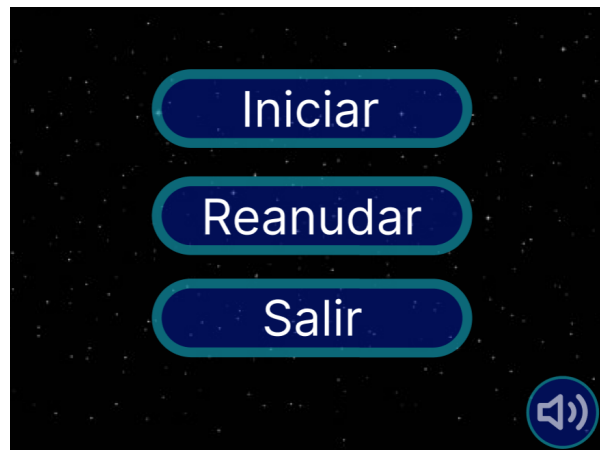


Figura 5.3: Interfaz principal del juego. Opciones iniciar, reanudar el juego, salir y quitar el volumen. Elaboración propia.



Figura 5.4: Interfaz principal del juego. Retroalimentación mediante cambio sutil de colores para indicar donde se encuentra el usuario. Elaboración propia.

monitoreo y posteriormente se integraron los objetivos secundarios.

5.5.1. Desarrollar módulo de monitoreo

El módulo desarrollado se encargó de registrar los movimientos del usuario y los tiempos que registraba cada acción, los cuales fueron definidos y descritos en la Sección 5.2.

Para las métricas de tiempo, se implementó un registro de tiempo. El tiempo de prueba se registró como el tiempo que transcurría entre la toma de la esfera del entorno de realidad virtual (parte de las mecánicas de juego en la Sección 5.3), mientras que el tiempo de descanso era el tiempo que transcurría entre que un paciente soltaba el objeto hasta que lo recuperara. La suma de estos momentos era el tiempo total.



Figura 5.5: Interfaz principal del juego. Retroalimentación mediante cambio sutil de colores para indicar donde se encuentra el usuario

Para el monitoreo del ángulo de abducción y distancia, se empleó un script en Python para la detección de poses con el modelo de machine learning *MediaPipe Pose Landmarker*; este es un modelo que genera una estimación de 33 puntos de referencia de pose tridimensionales [61]. De este se tomó los puntos de referencia del hombro, codo y muñeca que corresponden a los puntos 11,13,15 respectivamente del modelo MediaPipe (Figura 5.6).

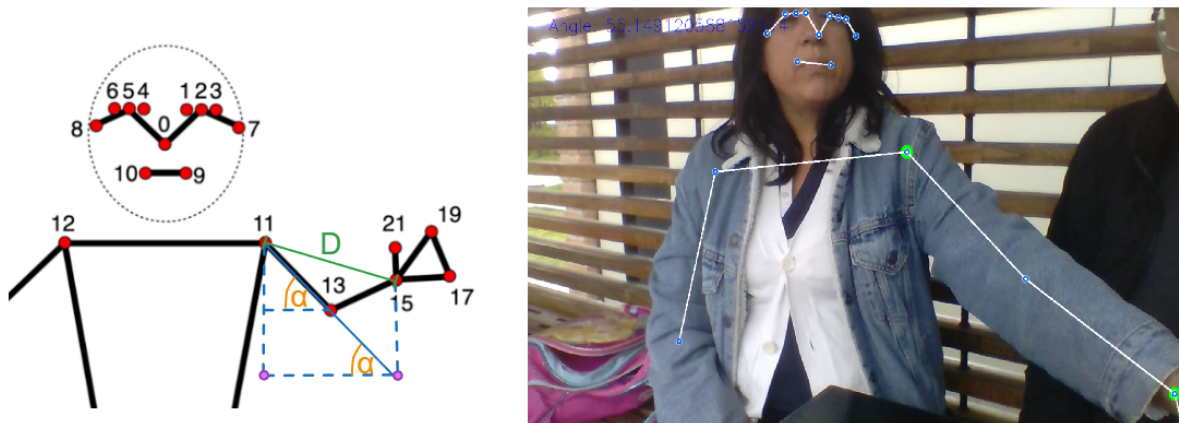


Figura 5.6: Funcionamiento del módulo de monitoreo de métricas. D es la distancia del hombro hasta el brazo. α es el ángulo de abducción entre el brazo y una componente paralela al torso y alineada con el hombro.

De este modo, es posible registrar los movimientos del paciente calculando la distancia entre un vector paralelo al torso generado y el punto de referencia de la muñeca. Por otro lado, con ayuda de Unity, se verificó este ángulo de la misma forma y con el adicional de determinar la distancia del brazo estirado basado en la distancia del dispositivo HMD y el control de realidad

virtual, calibrada a base del brazo del usuario. Estas métricas indican el progreso del paciente, definidas en los requisitos de *feedback* y *tracking*, se guardan en un archivo JSON de cada una de las repeticiones de las series propuestas (Ver Figura 5.7).

```
{
  "0": {
    "serie": {
      "0": {
        "abduction_angle": 36.303463,
        "succesfull": true,
        "test_time": 3.61207032,
        "rest_time": 0.694715261,
        "total_time": 4.30678558
      },
      "1": {
        "abduction_angle": 37.87669,
        "succesfull": true,
        "test_time": 1.5830971,
        "rest_time": 1.124262,
        "total_time": 2.707359
      },
      "2": {
        "abduction_angle": 38.81886,
        "succesfull": true,
        "test_time": 1.01392817,
        "rest_time": 0.921337962,
        "total_time": 1.93526614
      },
      "3": {
        "abduction_angle": 34.90813,
        "succesfull": true,
        "test_time": 1.84888613,
        "rest_time": 0.898440242,
        "total_time": 2.74732637
      },
      "4": {
        "abduction_angle": 35.3688927,
        "succesfull": true,
        "test_time": 1.2777245,
        "rest_time": 1.15428972,
        "total_time": 2.43201423
      }
    }
  }
}
```

Figura 5.7: Requisitos de *feedback* y *tracking* del ejercicio de desplazamiento de hombro.

5.5.2. Integrar objetivos secundarios

Para concluir este paso, con el módulo de monitoreo se implementó advertencias al usuario al realizar un movimiento incorrecto mediante una pantalla colocada frente a él (Figura 5.8). Al detectarse un ángulo fuera del rango de $[35^\circ, 55^\circ]$, se mostraron advertencias sobre mantener un ángulo de 45° . Adicionalmente, al detectarse un error en la distancia del brazo, se mostraba otro error adicional que indicaba que el brazo debe estirarse completamente. También estas acciones erróneas se ligaron al movimiento del avatar de robot de terapia, el cual realizaba una

animación que manifiesta una expresión de miedo. Tras mantener alguno de estos errores por más de diez segundos, el juego se pausa hasta que se coloque el brazo de la manera correcta.



Figura 5.8: Objetivos secundarios integrados en el *exergame*. En la pantalla frente al usuario se muestran los errores en el movimiento del desplazamiento lateral de brazo extendido.

5.6. Validación del *exergame* terapéutico

Finalmente, el *exergame* fue validado con una fisioterapeuta experta en el dominio de la rehabilitación (Figura 5.9). Ella probó el *exergame* terapéutico y validó que este cumpla con los objetivos primarios y secundarios. Con ello se comprobó su utilidad y seguridad referente a una persona en el proceso de rehabilitación del hombro, específicamente en el control motor y la movilidad de la articulación glenohumeral del miembro superior derecho.



Figura 5.9: Validación con el experto en el dominio de la fisioterapia del exergame con realidad virtual generado siguiendo el proceso VR-TEP

6. Evaluación del proceso VR-TEP

En este capítulo se aborda la evaluación del proceso VR-TEP en función de las percepciones de los usuarios, utilizando el Modelo de Evaluación de Métodos (MEM) [4] para medir la eficiencia y efectividad del proceso dentro del cuasi-experimento. El MEM extiende el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM) [3], lo que se explica su relevancia en esta investigación. El cuasi-experimento comienza con una descripción de los modelos teóricos que serán de utilidad para la evaluación. A continuación, se presenta la planificación, ejecución y análisis del experimento, seguido del análisis de la percepción de los usuarios y la identificación de amenazas a la validez. Para complementar el estudio, se presenta un caso de estudio cualitativo para conocer desde el punto de vista de los fisioterapeutas si el producto generado siguiendo el proceso VR-TEP es adoptado. El caso de estudio comienza el diseño y planificación, la preparación y recolección de datos, la preparación de la entrevista, la ejecución del caso de estudio, el análisis e interpretación de los datos recopilados y, finalmente, las posibles amenazas a la validez dentro del caso de estudio.

6.1. Introducción

En el proceso VR-TEP, resulta fundamental comprender la importancia desde la perspectiva de los usuarios para evaluar la efectividad, eficiencia, aceptación y posible adopción del proceso. En este marco, se utiliza el Modelo de Evaluación de Métodos (MEM) [4], que amplía el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM) desarrollado por Davis [3], proporcionando una base teórica esencial para entender cómo los usuarios adoptan y emplean estas tecnologías

Esta evaluación se divide en dos partes principales: un cuasi-experimento con estudiantes de último año de ingeniería en Ciencias de la Computación y caso de estudio con dos fisioterapeutas.

El cuasi-experimento se llevó a cabo con veinte participantes, conformados por estudiantes de último año de Ciencias de la Computación e ingenieros de la misma área. A estos participantes se les presentó el proceso del VR-TEP, enfocándose principalmente en la *actividad de diseño del juego*, debido a su relevancia en el desarrollo de exergames con realidad virtual. Las demás actividades del proceso, basadas en la metodología propuesta por Pirovano, ya han sido validadas previamente y solo cuentan con pequeñas modificaciones. Por esta razón, no se consideraron en esta etapa de evaluación.

Este enfoque no solo permite evaluar la aplicación de procesos de ingeniería para desarrollar un exergame con RV de manera segura, sino también analizar la percepción de profesionales. Para lograr esto, se ha adaptado un cuestionario previamente validado a nuestro proceso, definiendo los constructos del Modelo de Evaluación de Métodos (MEM) en función de variables técnicas relevantes, con el fin de evaluar la facilidad de uso percibida, utilidad percibida e intención de usar el proceso. Los ítems del cuestionario se ajustan para medir adecuadamente las percepciones de los usuarios desde una perspectiva ingenieril, incorporando medidas basadas en el rendimiento como factores que influyen en las variables de percepción

En la segunda parte, dos fisioterapeutas evaluarán el producto final, que consiste en un exergame con RV generado siguiendo el proceso propuesto destinado a la rehabilitación física. Este caso de estudio permitirá recopilar información de manera cualitativa sobre la percepción de los usuarios finales sobre la visión práctica y aplicable para la terapia en un entorno de rehabilitación usando esta tecnología mediante una entrevista. La entrevista se realiza siguiendo pautas para ver la facilidad de uso, utilidad e intención de uso, con el fin de conocer si adoptarían el exergames terapéutico generado siguiendo el proceso VR-TEP.

6.2. Cuasi-experimento

En este apartado se describe la evaluación del proceso VR-TEP mediante un cuasi-experimento. De acuerdo con Bocco et al.,[10] a través de estos se puede investigar situaciones de ciertas afirmaciones para recomendar contextos en los que sean útiles los estándares, métodos y herramientas. Considerando esto, se ha decidido utilizar el modelo de evaluación sugerido por Bocco [10], ya que es crucial proporcionar validez al conocimiento del proceso, para los cuales se describe a continuación los modelos importantes dentro de esta evaluación TAM y MEM.

6.2.1. Modelo de aceptación de la tecnología (TAM)

Dentro del campo de ingeniería de software, es fundamental abordar como las personas aceptan las nuevas tecnologías. En dicho contexto, un modelo destacado es el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM) propuesto por Davis [3]. El modelo analiza cómo la percepción de utilidad y la facilidad de uso influyen en los usuarios respecto a la tecnología. Estas percepciones son cruciales hacia la tecnología, para poder determinar la intención de uso y el comportamiento para la adopción tecnológica. Según TAM, la percepción de la utilidad y facilidad de uso de una tecnología impacta en la disposición de los usuarios para aceptar y emplear

dicha tecnología, como se muestra en la Figura 6.1

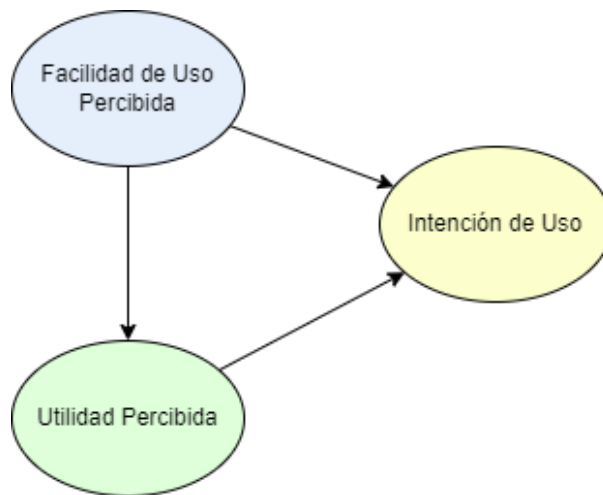


Figura 6.1: Versión simplificada del TAM [3]

En el siguiente apartado, se proporciona una descripción de cada elemento que constituye el diagrama:

- **Facilidad de Uso Percibida (PEOU-*Perceived Ease of Use PEOU*):** Describe la percepción que tiene alguien sobre lo sencillo y libre de esfuerzo al usar un sistema o tecnología en particular.
- **Utilidad percibida (PU-*Perceived Usefulness*):** El nivel en el que alguien considera que el uso de un sistema o tecnología específica mejorará su desempeño en una tarea en particular.
- **Intención de uso (ITU- *Intention to Use ITU*):** Se refiere a la predisposición o intención de un individuo de utilizar una tecnología a futuro.

6.2.2. Modelo de evaluación de métodos (MEM)

De acuerdo a Moddy et al, [4]. el uso actual y la eficiencia actual son esenciales para el éxito de un método, y el MEM ayuda significativamente a integrarlos. La implementación práctica de un método depende de su efectividad real (éxito pragmático) y de cómo lo ven los usuarios. Este modelo posee constructos y relaciones causales, las cuales podemos apreciar en la Figura 6.2 y son definidas a continuación:

- **Eficacia Actual:** comprende de dos variables: Eficiencia Actual (cantidad de esfuerzo necesario para implementar un método) y Efectividad Actual (medida en que un método logra sus objetivos, relacionados con el nivel de los resultados obtenidos).

- **Eficacia Percibida:** comprende dos variables fundamentadas en la percepción: Facilidad de Uso Percibida (la convicción de que emplear un método no requiere esfuerzo) y Utilidad Percibida (creencia de que un método mejora el rendimiento en el trabajo, influenciada por la facilidad de uso percibida).
- **Adopción en la práctica:** comprende dos constructos: Intención de uso (medida de la intención de usar un método por una persona) y uso actual (medida de uso del método en la práctica).

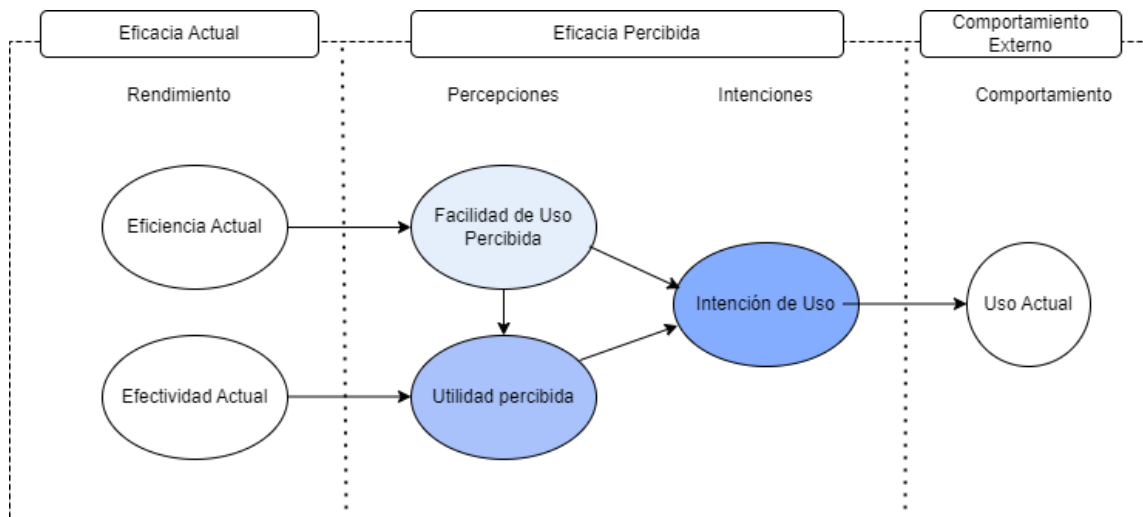


Figura 6.2: Modelo MEM [4]

Adaptando el MEM para su uso en el proceso de diseño del juego

Definir los objetivos específicos del proceso de diseño es el primer paso involucrado en la adaptación del MEM. Basado en estos objetivos, es posible instanciar los constructos generales del MEM en variables dependientes específicas. En este contexto, dentro del proceso de diseño se aprecian estos objetivos principales: (1) Desarrollar la base del juego siguiendo la guía de diseño de juegos, proporcionando una estructura clara y detallada en el Documento de Diseño general del Juego. (2) Crear interfaces que sean fáciles de usar y que optimicen la interacción del usuario, asegurando una experiencia de juego fluida y satisfactoria mediante la aplicación de principios de diseño de HCI. (3) Elegir elemento que generen un ambiente inmersivo con base en la guía de diseño de ambientes inmersivos.

Siendo descritos los objetivos, para el enfoque de la evaluación del MEM se considera la eficacia del proceso creado; por lo tanto, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El esfuerzo requerido para aplicar el proceso VR-TEP y la calidad de los resultados obtenidos.

- La eficiencia actual se define como el esfuerzo necesario para comprender y aplicar el proceso. El tiempo empleado es una medida común para evaluar este parámetro.
- La efectividad, la cual se refiere a la calidad del proceso, con frecuencia se mide por la habilidad para completar una tarea específica, teniendo en cuenta si se completó o no con éxito.

Las siguientes fórmulas representan las variables de eficiencia y efectividad.

$$\text{Eficiencia} = \sum_{i=1}^n \text{Tiempo por actividad que le toma al usuario} \quad (6.1)$$

$$\text{Efectividad} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Número de tareas culminadas con éxito por el usuario}}{\text{Cantidad de tareas}} \quad (6.2)$$

Para medir las variables basadas en la percepción, se ha desarrollado un cuestionario que evalúa los tres constructos principales: PEOU, PU e ITU. Estos ítems, que se encuentran en la tabla 6.1, permiten obtener información relevante sobre el proceso.

El modelo teórico sugerido se muestra en la Figura 6.3, que ofrece una representación gráfica del marco conceptual empleado para evaluar la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP. Las métricas de rendimiento se han empleado principalmente como elementos que influyen en las variables basadas en la percepción.

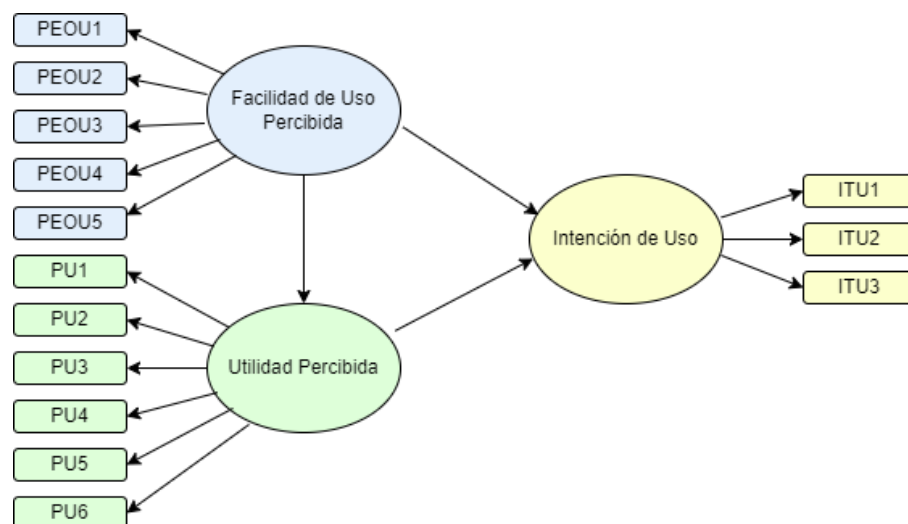


Figura 6.3: Preguntas del cuestionario organizadas de acuerdo a su constructo.

Para la realización de este experimento se ha utilizado el paradigma Goal-Question Metric (GQM) propuesto por [62]. Nos permite establecer una estructura para definir todos los aspectos

tos relevantes, incluyendo las metas del experimento. Para la actividad de diseño del juego se ha establecido este cuasi-experimento de la siguiente manera:

- **Analizar:** La actividad de diseño del proceso VR-TEP
- **Con el propósito de:** evaluar la actividad de diseño del juego de acuerdo a las percepciones del usuario en términos de facilidad de uso, utilidad percibida e intención de uso futuro, así como su eficacia en relación con la efectividad y el tiempo empleado
- **Con respecto a:** su aplicación durante el proceso de desarrollo
- **Desde el punto de vista de:** Los ingenieros de software
- **En el contexto de:** Un grupo de alumnos y profesionales en el área de Ciencias de la Computación.

Después de desarrollar el cuasi-experimento sobre la actividad de diseño del juego, se aplicó un cuestionario. El cuestionario se formuló utilizando una escala de Likert de cinco puntos, con preguntas opuestas, mismas que se puede apreciar en la Tabla 6.1. Las preguntas correspondientes a ítems del mismo constructo fueron aleatorizadas para prevenir sesgos en las respuestas.

Pregunta	Declaración Positiva (5 puntos)
PEOU1	La actividad de diseño del proceso VR-TEP es sencilla y fácil de seguir.
PEOU2	En general, la actividad de diseño del proceso es fácil de entender
PEOU3	Las tareas de la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP difíciles de entender
PEOU4	La actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP es clara y fácil de aprender.
PEOU5	Considero que sería fácil dominar la actividad de diseño del proceso VR-TEP
PU1	Creo que la actividad de diseño del proceso VR-TEP podría reducir el tiempo y esfuerzo requeridos para gamificar un ejercicio virtual.

PU2	En general, considero que la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP es útil.
PU3	Considero que la actividad de diseño del juego es útil para gamificar un ejercicio virtual.
PU4	Pienso que la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP es lo suficientemente expresiva para definir las pautas a considerar en la gamificación de un ejercicio virtual
PU5	El uso de la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP podría mejorar el rendimiento para gamificar un ejercicio virtual.
PU6	En general, pienso que la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP puede usarse para gamificar un ejercicio virtual.
ITU1	Si necesitara gamificar un ejercicio virtual, consideraría la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP
ITU2	De ser necesario, utilizaría la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP
ITU3	Recomendaría el uso de la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP.

Tabla 6.1: Instrumento para evaluar las variables de percepción - Cuasi-experimento.

Una vez adaptado el MEM, la posibilidad de que el exergame sea aceptado en la práctica, se propone las siguientes hipótesis:

- H_{1_0} : La actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP se percibe como difícil de usar, $H_{1_0} = \neg H_{1_1}$.
- H_{2_0} : La actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP no se percibe como útil, $H_{2_0} = \neg H_{2_1}$.
- H_{3_0} : No existe intención de utilizar la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP en el futuro, $H_{3_0} = \neg H_{3_1}$.

Las siguientes hipótesis se generan para establecer una relación directa entre el uso, las percepciones e intenciones de los usuarios sobre la actividad del proceso de diseño del juego.

- H_{40} : La Eficiencia no determina PEOU, $H_{40} = \neg H_{41}$.
- H_{50} : La efectividad no determina PU, $H_{50} = \neg H_{51}$.
- H_{60} : PU no es determinada por PEOU, $H_{60} = \neg H_{61}$.
- H_{70} : ITU no está determinada por PU, $H_{70} = \neg H_{71}$.
- H_{80} : ITU no es determinada por PEOU, $H_{80} = \neg H_{81}$.

6.2.3. Planificación del cuasi-experimento

Selección del contexto

Para realizar la evaluación del proceso VR-TEP, se ha creado un conjunto de tareas que involucren cada parte de la actividad de diseño del juego, la cual es fundamental para la gamificación de ejercicios virtualizados. No nos centramos en otras actividades, dado que estas ya fueron probadas dentro del proceso propuesto por Pirovano et al. [2], con pequeñas adaptaciones que no requieren ser probadas exhaustivamente. Es importante recalcar que se evaluará esta actividad debido a su gran significancia en la realidad virtual, pues indica que, para que el paciente se divierta realizando el ejercicio y se adhiera al juego, es crucial centrarse en esta actividad en lugar de únicamente en el ejercicio. Esta actividad contempla el ejercicio que debe cumplir el paciente y cómo este lo realizaría de manera entretenida, fomentando la adherencia al juego mientras realiza el ejercicio de rehabilitación.

Con el fin de facilitar la evaluación, se han diseñado tareas que se encuentran dentro de la actividad de diseño del juego, exceptuando la implementación de los ejercicios virtualizados. Las tareas consisten en elegir el tipo de gamificación más adecuado de acuerdo al perfil de la persona, la elección de elementos de interfaz que cumplan con los principios de HCI, y posteriormente, la selección de elementos que hagan un escenario virtual más inmersivo.

Para la recopilación de datos, se realizó una etapa instructiva en la que se explicó el proceso VR-TEP. Posteriormente, se desarrolló una práctica guiada que cubría cada uno de los pasos en la actividad de diseño del juego. Después de concluir la etapa instructiva, se procedió a la fase de experimentación, en la que los participantes aplicaron los pasos de la actividad de diseño en un ejercicio similar al guiado, anotando la hora de inicio y fin de cada tarea para la recolección de datos sobre el tiempo empleado por cada participante para completar

la actividad propuesta. Finalmente, se brindó un cuestionario que constaba de 14 preguntas cerradas, diseñado para analizar las variables subjetivas.

Tareas experimentales

Tarea 1: El participante debe seleccionar el tipo de gamificación más adecuada conforme al tipo de persona. Para ello, deberá hacer uso de la tabla de consideraciones de gamificación según el tipo de persona y el perfil de usuario proporcionado.

Tarea 2: El participante debe seleccionar el tipo de historia y jugabilidad más adecuada. Para ello, debe considerar el ejercicio virtualizado proporcionado y el perfil de usuario de la persona.

Tarea 3: El participante debe escoger elementos para la creación de interfaces, utilizando los principios de HCI proporcionados.

Tarea 4: El participante debe elegir los elementos que deben o no incluirse para crear un ambiente inmersivo. Para ello, hará uso de la tabla de consideraciones de elementos inmersivos.

Tarea 5: El participante debe seleccionar el elemento de inmersión más adecuado al entorno. Para ello, también hará uso de la tabla de consideraciones de elementos inmersivos.

Variables

La Tabla 6.2 presenta las variables empleadas en la evaluación, mismas que se basan en la percepción, de acuerdo al MEM. Estas fueron evaluadas a través de un cuestionario que utiliza una escala de Likert de cinco puntos, compuesto por 14 preguntas cerradas.

Variable	Explicación de la variables
Facilidad de Uso Percibida (PEOU)	Medida en la cual los participantes suponen aprender y usar la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP
Utilidad Percibida (PU)	Media en que los participantes piensan que usando la actividad de diseño del juego podría mejorar su desempeño
Intensión de Uso (ITU)	Media en que los participantes piensan usar la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP.

Tabla 6.2: Variables dependientes relacionadas con la percepción de los usuarios

La Tabla 6.3 describe las variables basadas en el rendimiento. De acuerdo a lo mencionado previamente, el experimento implicó en completar una serie de tareas. Los participantes debían anotar la hora de inicio y fin de cada tarea. Finalmente, se obtuvo la nota total de las tareas

que realizaron correctamente. La efectividad se definió como la suma de todas las tareas ejecutadas correctamente en relación con el número total de tareas, mientras que la eficiencia se midió como el tiempo total gastado en la ejecución de las tareas.

Variable	Descripción
Eficiencia	$\sum_{i=1}^n \text{Tiempo por actividad que le toma al usuario} \quad (6.3)$
Efectividad	$\sum_{i=1}^n \frac{\text{Número de tareas culminadas con éxito por el usuario}}{\text{Cantidad de tareas}} \quad (6.4)$

Tabla 6.3: Variables dependientes basadas en el rendimiento

Material experimental

Se diseñó una página web en Google Sites para el material experimental, la cual incluía una presentación de la actividad de diseño del juego, con las indicaciones de los conceptos que los participantes debían conocer. Posteriormente, se incluyó un ejercicio guiado para instruir a los participantes sobre cómo realizar la actividad. Para el experimento, se preparó un ejercicio en el que los participantes debían responder a tareas similares al ejercicio guiado, así como un cuestionario de 14 preguntas para evaluar las variables subjetivas. Además, se incluyeron anexos para aquellos participantes que deseaban conocer más sobre la actividad.

- Una guía de aplicación del proceso, que señalaba cada paso y explicaba cómo se aplican las guías dentro del diseño del juego y quiénes están involucrados.
- Una guía de diseño del juego, que detallaba los elementos necesarios para diseñar un juego, como título, historia, personajes, jugabilidad, entre otros.
- Una guía sobre principios de HCI para el diseño de interfaces, que proporcionaba pautas para crear interfaces que cumplan con los requisitos de la persona y del sistema.
- Una guía de diseño de ambientes inmersivos, que ofrecía pautas para diseñar un entorno virtual inmersivo.

Estas guías fueron fundamentales para asegurar que los participantes tuvieran una comprensión completa de los conceptos y metodologías necesarios para llevar a cabo la actividad de diseño del juego de manera efectiva y consistente.

El material usando para la evaluación se puede apreciar en el siguiente link: <https://sites.google.com/ucuenca.edu.ec/experimentorodincho/inicio>, en el que se encuentra una presentación del proceso, las guías, el ejercicio guiado, el ejercicio aplicado a la experimentación y la encuesta.

6.2.4. Ejecución y análisis del experimento

Se dispuso de veinte estudiantes de último año e ingenieros correspondientes al área de Ciencias de la Computación, para la realización de este experimento, mismo que fueron seleccionados para evaluar la actividad de diseño del proceso VR-TEP, los cuales voluntariamente decidieron formar parte del experimento.

Para poder obtener los datos, primero se realizó una explicación del proceso VR-TEP, puntualmente sobre la actividad de diseño del juego debido a la significancia que esta presenta en un entorno virtual para poder dar mayor satisfacción a las personas mientras realizan un ejercicio de rehabilitación física. Posteriormente, se realizó una fase de entrenamiento, donde se explicó a detalle en que consiste la actividad y porque es importante seguir las tareas de esta actividad, donde se desarrolló una práctica guiada que cubría cada uno de los pasos en la actividad de diseño del juego. Ya finalizado el entrenamiento se prosiguió con la experimentación, donde, cada participante realizó un ejercicio similar al ejercicio guiado, con la finalidad de poder recolectar los tiempos que le tomaban en cada actividad presentada en el ejercicio. Finalmente, se presentó un cuestionario de catorce preguntas mismas que corresponde a las variables necesarias para analizar las variables subjetivas.

6.2.5. Análisis de las percepciones del usuario

Para realizar el análisis, se calculó el promedio de las respuestas de los ítems para cada participante, tanto para las variables PEOU, PU e ITU, que constan de cinco, seis y tres ítems, respectivamente.

Una vez obtenidos los promedios individuales para cada variable, se representó estos valores promedio en los diagramas de caja, el cual permite visualizar la distribución y dispersión de

los datos, así como identificar posibles valores atípicos. En la Figura 6.4 se presentan los diagramas correspondientes a cada una de las variables. Según la escala de Likert de cinco puntos, un valor cercano a cinco indica una total aceptación a la solución propuesta, un valor cercano a uno indica un rechazo a la misma, mientras que un valor de tres, representa la neutralidad frente a la solución (no se mejora, ni empeora el estado actual).

Gracias a los diagramas de caja iniciales en azul, se logró identificar un rasgo inusual en el participante identificado como número dos. Este participante no estuvo presente durante la sesión completa del entrenamiento, por lo que fue excluido del análisis posterior. Eliminando el dato anómalo, se obtuvo los diagramas de caja en amarillo que se muestra en la Figura 6.4.

Los estadísticos descriptivos demuestran que, las medias de cada variable son superiores a cuatro, lo que ya nos da un indicio de buenos resultados. Luego se mide la significancia de la solución para determinar su aceptación tecnológica. Y, posteriormente, se verifican las relaciones causales entre las variables del constructo, para así conocer cómo estas variables influyen entre sí, según el modelo de aceptación tecnológica aplicada, tanto del MEM como del TAM.

Adicionalmente, se verificó la presencia de distribución normal de cada variable. La distribución normal es una distribución de probabilidad continua, unimodal y simétrica, con una curva en forma de campana que se aproxima a la media [63]. Encontrar la normalidad de las variables nos sirve para conocer qué tipo de prueba debemos realizar.

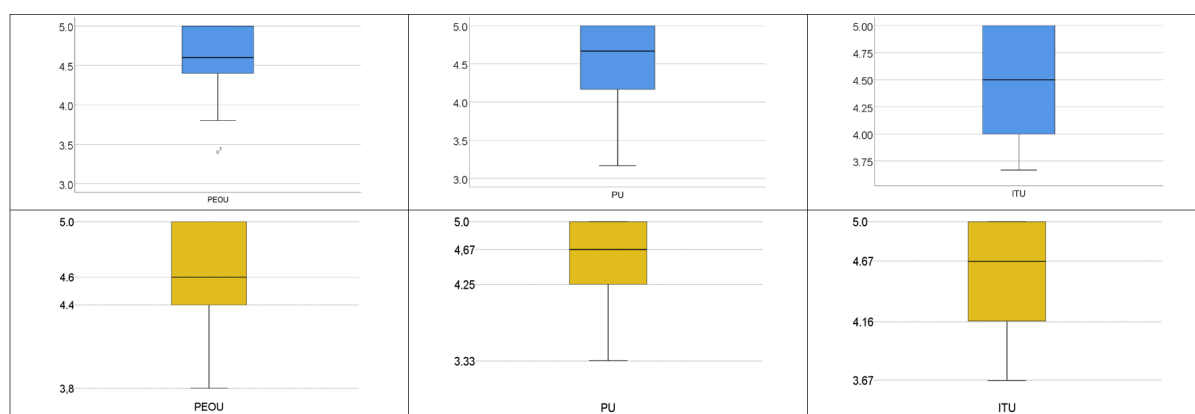


Figura 6.4: Representación de las variables PEOU, PU e ITU mediante el diagrama de cajas.

En azul el diagrama inicial con 20 participantes, en amarillo diagrama filtrado sin datos anómalos (19 participantes).

Tanto los estadísticos descriptivos como la significancia de la solución, fueron calculados utilizando el software SPSS [64]. En el mismo software, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, que

se emplea cuando el tamaño de la muestra es inferior a 50, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 6.4. Esta prueba se utiliza para evaluar la normalidad en la distribución de los datos. En este contexto, un valor cercano a uno indica que los datos siguen una distribución normal, aplicándose T-Test, en nuestro caso al ser una distribución no normal, se aplicó Wilcoxon.

Una vez aplicado la prueba de Wilcoxon, la cual se utiliza para comparar dos muestras relacionadas [65]. Dicha prueba indica que si el p-value es cercano a cero, el tratamiento muestra un efecto significativo, permitiendo rechazar las hipótesis nulas. En esta prueba se utiliza un valor en forma de umbral ($p < 0.05$) que nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar su hipótesis alternativa, mientras que un valor ($p \geq 0.05$) dice que debemos aceptar la hipótesis nula. En este caso, se realizó una evaluación de cada variable para comprobar las hipótesis con respecto a un valor neutral de tres; en este caso, que al usuario le resulta igual el utilizar o no la solución. Se probaron las hipótesis nulas H_{10} , H_{20} y H_{30} . De igual forma, en la Tabla 6.4 se puede apreciar el p-value por cada variable. Esto sugiere que la actividad de diseño de VR-TEP para exergames es aceptada en la práctica, dado que las hipótesis indican que el usuario acepta la actividad como fácil de usar, útil y por tanto los sujetos experimentales tendrán la intención de utilizarla en un futuro en caso de ser necesaria.

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Std. Dev	Std. E	Valores prueba Shapiro-Wilk	Prueba Wilcoxon
PEOU	3.80	5.0	4.54	0.38	0.0878	0.016	0.000
PU	3.33	5.0	4.47	0.48	0.112	0.015	0.000
ITU	3.67	5.0	4.47	0.46	0.106	0.023	0.000

Tabla 6.4: Prueba de normalidad para variables con Shapiro Wilk y Wilcoxon.

Análisis de rendimiento de usuario

Las métricas sobre la efectividad y eficiencia se encuentran detalladas en la Tabla 6.5, resultado de la evaluación de la actividad de diseño del juego, siendo menester resaltar que los valores atípicos fueron eliminados previamente para este análisis.

La eficiencia se determinó en función del esfuerzo necesario medido en minutos para aplicar la actividad de diseño del juego [4]. De acuerdo a los resultados de los participantes, la eficiencia

fue de 4 a 11 minutos. Por otro lado, la efectividad fue de 0.61 a 0.93, con una media de 0.81, lo que indica que la actividad evaluada brinda una notable efectividad dado que los participantes respondieron de forma correcta sobre las tareas planteadas.

Variable	Valor Mínimo	Valor Máximo	Media	Std. Dev.
Efectividad	0.61	0.93	0.81	0.84
Eficiencia	4	11	6.94	1.84

Tabla 6.5: Resumen de las métricas de efectividad y eficiencia de la actividad de diseño del juego.

Análisis de las relaciones causales

El propósito de esta sección es validar la estructura del MEM respecto a la causalidad entre sus variables, que son: Efectividad, Eficiencia, PEOU, PU e ITU mediante la aplicación de un análisis de regresión. Se seleccionó la regresión lineal simple, por qué si existe una relación causal entre dos variables, un análisis de regresión lineal puede predecir una variable con la otra [66]. Además, la regresión lineal nos permite identificar la dirección de la relación, el valor de la significancia y encontrar el coeficiente de determinación, que indica la proporción de la variabilidad en la variable dependiente que se explica por las variables independientes [67].

Es importante tener en cuenta que la causalidad o la dirección del efecto debe derivarse primero teóricamente antes de que pueda asumirse en un modelo de regresión [66]. Sin embargo, se ha partido del modelo inicial MEM, el cual ya ha definido la causalidad entre sus constructos, por lo que se busca probar la causalidad entre las variables previamente mencionadas en este cuasi-experimento.

Adicionalmente, en la tabla 6.6 se puede observar el grado de significancia propuesta por [4], que se ha utilizado para este análisis para comprobar que tanto se relaciona una variable con otra.

Rango	Grado de significancia
$p < 0.001$	Muy alta significancia
$p < 0.01$	Alta significancia
$p < 0.05$	Media significancia

p<0.1	Baja significancia
p>0.1	No significativo

Tabla 6.6: Grado de significancia [4]

En particular, se desea comprobar las siguientes relaciones causales: si la eficiencia tiene alguna relación causal con la facilidad de uso, es decir, si influye o no en ella; si la efectividad tiene una relación causal con la utilidad percibida; si la facilidad de uso percibida afecta causalmente a la utilidad percibida; si la facilidad de uso percibida tiene relación causal en la intención de uso; y finalmente, si la utilidad percibida tiene un efecto causal en la intención de uso. La única causalidad que no se verificará es la de la intención de uso sobre el uso actual.

Eficiencia vs PEOU

Para el presente análisis se ha creado un modelo de regresión simple. En el cual la variable PEOU depende de su variable independiente, mismo que corresponde a la Eficiencia. Siendo la siguiente ecuación el resultado de este análisis:

$$\text{PEOU} = 5.398 + (-0.115) \times \text{Eficiencia} \quad (6.5)$$

En consecuencia, se encontró que el modelo presenta una media significancia, siendo este valor menor a 0.05. El 30.5 % de la varianza de PEOU es explicada por la Eficiencia según la variable R^2 (Ver Tabla 6.7). Esto sugiere que la eficiencia actual determina PEOU por parte de los participantes, permitiéndonos rechazar la hipótesis H_{40} y establecer que la Eficiencia determina a PEOU, lo cual corresponde a aceptar la hipótesis alternativa H_{41} .

Reg. Element	Coef b	Std. E.	Std. Coef	t	Sig	R	R 2
Constante	5.398	0.302	–	17.873	.000	–	–
Eficiencia	-0.115	0.042	-0.552	-2.728	.014	.552	0.305

Tabla 6.7: Resumen del modelo para ver la relación entre PEOU y Eficiencia

Efectividad vs PU

Para determinar la hipótesis H_{50} , la que indica que la Efectividad no determina PU. Se construyó de manera similar un modelo para ver la relación entre las variables en el que PU se empleó como variable dependiente de la Efectividad, siendo la Efectividad la variable independiente para ver si existe una relación entre dichas variables. La siguiente ecuación el resultado de este modelo:

$$PU = 4.457 + (-0.27) \times \text{Efectividad} \quad (6.6)$$

En el cual podemos corroborar la hipótesis H_{50} , que indica que la percepción de los participantes respecto la Efectividad no determina PU. Puesto que el modelo demuestra que no es significativo siendo su valor mayor a 0.1 y R^2 sugiere que la efectividad explica la varianza de un 0 % de PU (Ver Tabla 6.8), es decir que la efectividad no influye en PU. Lo que nos permite aceptar que la hipótesis H_{50} , que indica que la Efectividad no determina PU.

Reg. Element	Coef b	Std. E.	Std. Coef	t	Sig	R	R 2
Constante	4.457	1.160	–	3.929	0.001	–	–
Efectividad	-0.27	1.411	-0.005	-0.019	0.985	0.005	0.000

Tabla 6.8: Resumen del modelo para identificar la relación entre la Efectividad y PU.

Facilidad de Uso Percibida vs Utilidad Percibida

Se ha probado la hipótesis H_{60} , para determinar si la PU no está determinada por la PEOU. Se pueden ver los valores relacionados con este análisis en la Tabla 6.9. Se elaboró un modelo de regresión simple, como resultado se puede apreciar la ecuación que surgió a partir de este modelo:

$$PU = 1.399 + 0.682 \times \text{PEOU} \quad (6.7)$$

Reg. Element	Coef b	Std. E.	Std. Coef	t	Sig	R	R 2
Constante	1.399	1.210	–	1.156	0.264	–	–
PEOU	0.682	0.262	0.534	2.602	0.019	0.534	0.285

Tabla 6.9: Resumen del modelo identificar la relación entre PEOU y PU.

El análisis del modelo construido para ver la relación entre las variables reveló una media significancia con valor menor a 0.05 y el coeficiente R^2 sugiere que PEOU explica la varianza de un 28.5 % de PU, indicando que un considerable porcentaje de las percepciones de los participantes sobre PU esta influenciado y depende de PEOU. Lo que nos permite aceptar su hipótesis alternativa H_{61} , es decir que, PU está determinada PEOU y descartar la hipótesis inicial H_{60} que indicaba que PU no está determinada por PEOU

Intención de Uso vs Utilidad Percibida

La hipótesis H_{70} establece que ITU no es determinada por PU. de igual forma la siguiente ecuación muestra el resultado del modelo de regresión:

$$ITU = 1.679 + 0.620 \times PU \quad (6.8)$$

El modelo presenta un alta significancia con valor menor que 0.01. Siendo que R^2 muestra que PU justifica un 42.9 % de la varianza de ITU (Ver Tabla 6.10), indicando que una gran mayoría de las percepciones con respecto a ITU están determinadas por PU. Siendo rechazada la hipótesis inicial H_{70} y dar como válida a su hipótesis alternativa H_{71} , la cual establece que ITU está determinada por PU.

Reg. Element	Coef b	Std. E.	Std. Coef	t	Sig	R	R 2
Constante	1.679	0.791	–	2.124	0.049	–	–
PU	0.620	0.173	0.655	3.576	0.002	0.655	0.429

Tabla 6.10: Modelo de regresión entre ITU y PU.

Intención de Uso vs Facilidad de Uso Percibida

Para corroborar si ITU es o no determinada por PEOU. Se ha probado la hipótesis H_{80} . La que establece que ITU no está determinada por PEOU. La Tabla 6.11 presenta los valores utilizados en el análisis, los cuales se emplearon para la siguiente ecuación de regresión:

$$ITU = 1.1471 + 0.657 \times \text{PEOU} \quad (6.9)$$

Este análisis reveló una media significancia con un valor menor a 0.05, que demuestra que PEOU explica el 29.5 % de varianza de ITU, según R^2 . Permittiéndonos negar la hipótesis H_{80} y aceptar la hipótesis alternativa H_{81} , es decir que, ITU está determinada por PEOU.

Reg. Element	Coef b	Std. E.	Std. Coef	t	Sig	R	R 2
Constante	1.471	1.136	–	1.294	0.213	–	–
PEOU	0.657	0.246	0.543	2.666	0.016	0.543	0.295

Tabla 6.11: Modelo de regresión entre ITU y PEOU.

En la Tabla 6.12 se ofrece un resumen de resultados, incluyendo todas las hipótesis que se tomaron en cuenta durante el experimento. Adicionalmente, en la Figura 6.5 se puede observar un resumen de la relación entre los resultados obtenidos.

Hipótesis	Significancia	Conclusión
H_{10}: La actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP se percibe como difícil de usar.	Wilcoxon-test 0.00 Alta significancia; se percibe como fácil de usar.	Se rechaza la H_{10} y se acepta la H_{11} : La actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP se percibe como fácil de usar.
H_{20}: La actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP no se percibe como útil.	Wilcoxon-test 0.00 Alta significancia; Se percibe como útil.	Se rechaza la H_{20} y se acepta la H_{21} : La actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP se percibe como útil.
H_{30}: No existe intención de utilizar la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP en el futuro.	Wilcoxon-test 0.00 Alta significancia; Se tiene intención de uso.	Se rechaza la H_{30} y se acepta la H_{31} : Existe la intención de usar la actividad de diseño del juego del proceso VR-TEP.
H_{40}: Eficiencia no determina PEOU.	$p < 0.05$ Media significancia entre Eficiencia y PEOU.	Se rechaza la H_{40} y se acepta la H_{41} : PEOU está determinada por la Eficiencia.

H₅₀: Efectividad no determinada PU.	p>0.1 No significativo entre Efectividad y PU.	Se acepta la H ₅₀ : PU no está determinada por la efectividad.
H₆₀: PU no es determinada por PEOU.	p<0.05 Media significativa entre PU y PEOU.	Se rechaza la H ₆₀ y se acepta la H ₆₁ : PU está determinada por PEOU.
H₇₀: ITU no está determinada por PU.	p<0.01 Alta significancia entre PU e ITU.	Se rechaza la H ₇₀ y se acepta la H ₇₁ : ITU está determinada por PU.
H₈₀: ITU no es determinada por PEOU.	p<0.05 Media significativa entre PEOU e ITU.	Se rechaza la H ₈₀ y se acepta la H ₈₁ : ITU está determinada por PEOU.S

Tabla 6.12: Resumen de los resultados

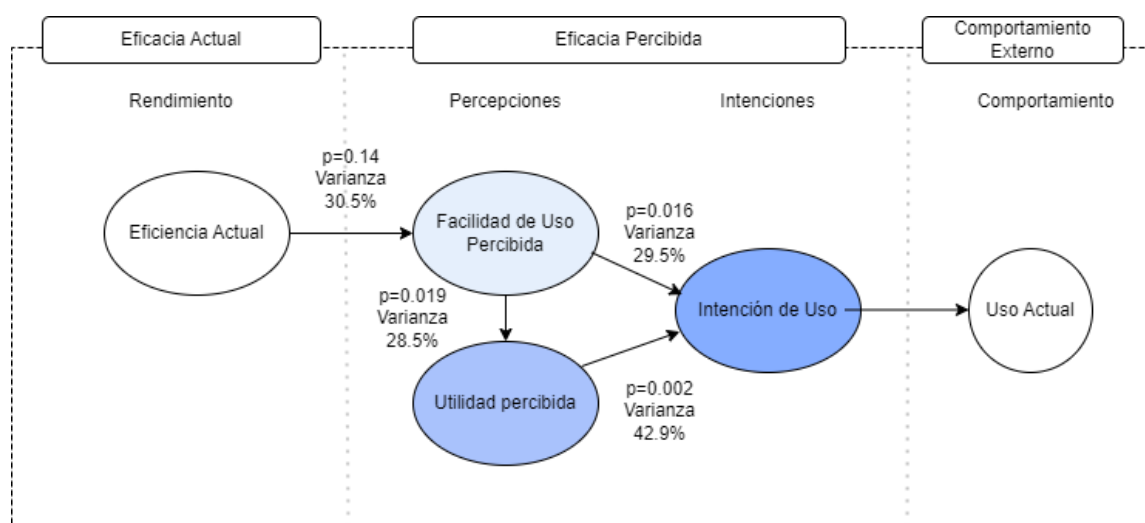


Figura 6.5: Resumen de resultados

6.2.6. Evaluación de la validez

Es fundamental analizar las posibles amenazas que pueden surgir durante el experimento e intentar mitigarlas en la medida de lo posible. Según [68] estos son los tipos de amenazas a la validez:

Validez interna

Los participantes no contaban con la experiencia sobre el proceso VR-TEP, por lo que la validez interna pudo verse afectado por este hecho. Para mitigar este factor, se realizó una sesión de entrenamiento en la que se explicó detalladamente el proceso y su importancia. Además, la gestión del experimento se llevó a cabo bajo supervisión para evitar que eventos inesperados puedan influir en el resultado.

Validez externa

La validez externa se ve mayormente afectada por la homogeneidad en la composición de la muestra, puesto que la selección se realizó entre estudiantes de último año y profesionales de la Carrera de Ciencias de la Computación de la Universidad de Cuenca. Es posible que los resultados puedan variar con un grupo distinto, por tal motivo la generalización de los resultados puede ser limitada. Sin embargo, los resultados pueden ofrecer una valiosa aproximación de los resultados para futuras investigaciones.

Validez de constructo

La fiabilidad del cuestionario representa el principal riesgo para la validez de constructo. Para minimizar esta amenaza, el cuestionario se derivó de instrumentos previamente validados para la medición de variables subjetivas, asegurando que las variables medidas representen adecuadamente los constructos de interés. Además, se usó el alfa de Cronbach para aumentar la confiabilidad de las preguntas referentes a cada variable subjetiva, en el cual los valores corresponden $PEOU=0.729$, $PU=0.891$ e $ITU=0.754$, lo que da validez al instrumento de evaluación aplicado siendo el umbral mínimo aceptado de 0.7.

Validez de conclusión

La selección y el tamaño de la muestra, conformada por 20 participantes, son los principales problemas con la validez de las conclusiones. Sin embargo, los resultados del experimento fueron positivos. Para futuros trabajos, se ha planteado realizar un experimento con una muestra más grande.

6.3. Caso de estudio

En esta sección se detalla el caso de estudio del proceso *VR-TEP*, en el que se intervino con dos profesionales de la salud en el área de la fisioterapia. Bajo esta premisa y siguiendo las propuestas de Bocco et al., [10], se han realizado las siguientes actividades.

6.3.1. Diseñar y planificar el caso de estudio

De acuerdo a Bocco et al., [10] este es el primer paso del caso de estudio, para lo cual se ha empleado un esquema de protocolo detallado en el libro, el cual se ve representado en la Tabla 6.13.

El objetivo principal del caso de estudio es evaluar la percepción de un fisioterapeuta sobre el exergame terapéutico diseñado siguiendo el proceso sugerido, como se muestra en la Tabla 6.13. En este caso, la pregunta de investigación se formula de esta manera: ¿Cuál es la opinión de un fisioterapeuta sobre un exergame terapéutico con RV diseñado siguiendo el proceso VR-TEP?

El tipo de estudio presentado para el caso de estudio en este contexto es de carácter holístico-único

Apartado	Contenido
Antecedentes	Preguntas de investigación <ul style="list-style-type: none"> ▪ RQ1: ¿Es fácil de usar y percibido como útil el exergame terapéutico diseñado con el proceso VR-TEP? ▪ RQ3: ¿Existe intención de uso del exergame terapéutico diseñado con el proceso VR-TEP? Si es que sí, ¿la intención de usar el exergame terapéutico diseñado con el proceso VR-TEP está influenciada por las percepciones que los participantes tienen tras su uso?
Diseño	Diseño holístico, caso único. Objetivo: Identificar la opinión por parte de los fisioterapeutas sobre el exergame terapéutico con RV diseñado siguiendo el proceso sugerido.
Selección	Sujeto a conveniencia

Procedimientos y roles	<p>Equipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Diseño e Implementación: Crear el exergame de RV para rehabilitación, integrando interfaces y medios tecnológicos según el proceso propuesto. ■ Coordinación de Pruebas: Organizar y gestionar sesiones de prueba con el fisioterapeuta. ■ Recopilación y Análisis de Datos: Recoger datos cualitativos a través de entrevistas y observaciones para evaluar las percepciones del exergame. <p>Fisioterapeuta:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Evaluación de Objetivos Terapéuticos: Definir los objetivos de rehabilitación y diseñar los ejercicios específicos para su integración en el exergame de RV. ■ Validación Clínica: Realizar una validación clínica del exergame de RV para rehabilitación, asegurando su adecuación a las necesidades terapéuticas y su eficacia en el proceso de rehabilitación.
Recogida de datos	<p>Identificación de los datos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Opiniones expresadas por cada fisioterapeuta sobre el exergame de RV diseñado para rehabilitación con el proceso propuesto. ■ Sugerencias para mejorar el proceso de rehabilitación mediante el uso de esta tecnología. <p>Plan de almacenamiento y recolección de datos</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Conducir una entrevista con el fisioterapeuta con el fin de recabar sus sugerencias y valoraciones.
Análisis	<p>Hipótesis: El fisioterapeuta percibe que el exergame desarrollado con el proceso VR-TEP del proceso es fácil de usar y útil, lo que genera una intención de aplicarlo en la rehabilitación de pacientes.</p>
Limitaciones del estudio	<ul style="list-style-type: none"> ■ El estudio se limita a la opinión de dos fisioterapeutas. Lo cual no es representativo para una población en general. ■ La tecnología utilizada puede representar limitaciones, como problemas de usabilidad, accesibilidad o aceptación por parte de los fisioterapeutas

Informe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Audiencia objetivo: Comunidad científica interesada en el diseño de un exergame terapéutico con RV, como desarrolladores y diseñadores ▪ Calendario: Junio 7, 2024, duración 45 min -1 hora
---------	--

Tabla 6.13: Esquema protocolo caso de estudio [10]

6.3.2. Preparar y recoger datos

Se diseñó una entrevista con el propósito de recolectar datos sobre la percepción que tiene el personal del área de la salud sobre la facilidad de uso percibida, utilidad percibida e intención de uso del producto de RV.

6.3.3. Preparación de la Entrevista

Las preguntas son abiertas, por tanto, esta entrevista se clasifica como no estructurada, donde el objetivo principal es conocer como los sujetos experimentan este producto diseñado con el proceso VR-TEP cualitativamente.

Preguntas genéricas
¿Ud. considera que mediante un exergame RV se pueda realizar terapia física?
¿Ud. considera que existen alguna terapia que no se puedan hacer mediante este exergame con RV?
¿Qué limitaciones cree que puede existir dentro de este exergame en la terapia?
¿Ud. usaría un exergame para su rehabilitación? ¿Cree que existirá cuestiones éticas?
¿Qué otras consideraciones Ud. cree que se debería tener implementar en estos tipos de exergame para que la paciente la rehabilitación?
¿Qué cree que debemos considerar cuando para realizar un juego de este tipo, cree que se ha considerado todo o debemos añadir algo más?
Contextualización a nuestro producto desarrollado a partir del proceso VR-TEP
¿Qué le pareció este en específico?
¿Qué mejoraría?
Sobre su facilidad, uso, utilidad e intención de uso
¿Por qué considera que este exergame sería o no útil en una terapia de rehabilitación de hombro?

¿Consideraría adoptar el exergame generado a partir de nuestro proceso VR-TEP para alguna terapia enfocada en la rehabilitación de hombro en el futuro?
¿Por qué usaría o no este tipo de herramienta (exergame) para la rehabilitación de hombro?
¿Considera que este juego de realidad virtual tiene una curva de aprendizaje significativa, o, por el contrario, es fácil de usar desde el principio?
Si necesitaras utilizar un exergame terapéutico para intervenciones terapéuticas con pacientes, ¿considerarías usar este exergame terapéutico presentado?
Preguntas abiertas posteriores al uso del producto
¿Considera que la inclusión del exergame beneficia los procesos respecto de terapia tradicional?
¿Considera que la recolección de datos le serviría para conocer el progreso del paciente?
¿Qué consideraciones cree que se deberían implementar para mejorar esta herramienta?

Tabla 6.14: Preguntas para la entrevista

6.3.4. Ejecución del caso de estudio

La ejecución del caso de estudio se lo realizó con 2 profesionales de la salud en el área de fisioterapia en una sesión presencial. Durante la sesión se presentó brevemente el trabajo realizado con las indicaciones del exergame con RV creado con el proceso VR-TEP para que los fisioterapeutas presentes puedan utilizarlo. Posteriormente, se hizo probar a cada experto el exergame con RV, para finalmente realizarles la entrevista de forma individual para conocer su opinión acerca del mismo.

6.3.5. Analizar e interpretar los datos

Las entrevistas con los dos profesionales de la salud en el área de fisioterapia proporcionaron una visión clara sobre la percepción de facilidad de uso, utilidad e intención de uso del exergame terapéutico con RV desarrollado siguiendo nuestro proceso VR-TEP. A partir de las respuestas proporcionadas de la entrevista, se han identificado las siguientes conclusiones.

Facilidad de uso percibida: Ambos fisioterapeutas coincidieron en que el exergame terapéutico con RV es sencillo de usar. Uno de ellos destacó que el juego no presenta complicaciones y que el paciente no tendría dificultades para comprender las instrucciones. La facilidad de uso es un aspecto primordial para asegurar la adherencia del paciente al tratamiento

Utilidad percibida: Las fisioterapeutas consideraron que este tipo herramientas puede mejorar significativamente la terapia tradicional, al ser creativas e innovadoras. Puesto a que combinan de elementos visuales motivadores que proporcionan un método interactivo y didáctico durante la terapia. Sumado a la posibilidad conocer los datos sobre los movimientos y tiempos que realiza el paciente durante el ejercicio, consideran que esta herramienta sea útil y visto como un complemento en la rehabilitación física.

Intención de uso: Ambos profesionales manifestaron una intención positiva de adoptar esta herramienta generada a partir de nuestro proceso dentro de sus prácticas clínicas. Resaltaron que es una herramienta que consideran que motivara al paciente más que las terapias tradicionales, además de que ofrece un feedback inmediato al paciente y al terapeuta, sumado a ello ofrece una experiencia atractiva. Sin embargo, también se mencionó que este tipo de exergame terapéutico con RV se debería utilizarse en conjunto con el fisioterapeuta, especialmente al inicio del tratamiento, y posteriormente podría ser utilizada por el paciente en casa bajo una continua supervisión.

Limitaciones y consideraciones: Se mencionaron las limitaciones relacionadas con terapias manuales que requieren la intervención directa del fisioterapeuta.

Ética: Ambos fisioterapeutas aseguraron que el uso del exergame no infringiría la ética del paciente, siempre y cuando se incluya como parte del plan de tratamiento acordado.

Recomendaciones para la mejora del juego: Los fisioterapeutas recomendaron ajustar la dosificación de los ejercicios y considerar una mayor variedad de rangos de movimientos y resistencias dentro del juego para adaptarse mejor a las necesidades de los pacientes.

En resumen, los fisioterapeutas vieron el exergame terapéutico con realidad virtual como una herramienta prometedora, sencilla de usar y útil para la rehabilitación, que puede complementar y mejorar las terapias tradicionales al proporcionar una experiencia interactiva y motivadora para los pacientes.

6.3.6. Amenazas a la validez

En esta sección se analizan cuatro tipos de validez considerados por Bocco et al., [10] los cuales presentan los problemas más significativos que puede comprometer la validez en el presente caso de estudio.

Validez de constructo

Según Yin [69] este aspecto revela cómo las medidas coinciden con lo que se pretende y se está investigando. En nuestro estudio, las preguntas fueron diseñadas utilizando características relacionadas con las variables del TAM, como facilidad de uso percibida, utilidad percibida e intención de uso, asegurando que las respuestas se relacionen directamente con la percepción de utilidad y usabilidad del producto de RV desarrollado con nuestro proceso.

Validez interna

Hubo dos factores que afectaron la validez interna: la falta de experiencia en el uso de los dispositivos de realidad virtual y el hecho de que el ejercicio de rehabilitación, llevado a la realidad virtual como *exergame* terapéutico en el Capítulo 5, fue propuesto por fisioterapeuta diferente de aquellos que evaluaron el producto. Para mitigar este factor, se realizaron las indicaciones previas de cómo se usan este tipo de tecnología y la explicación sobre el ejercicio que se desarrolló, asegurando así que los participantes comprendieran completamente el procedimiento.

Validez externa

La capacidad de generalización de los resultados del estudio puede estar limitada debido al reducido número de participantes (dos fisioterapeutas). Aunque esta muestra no es representativa de todos los fisioterapeutas, la selección de expertos con conocimiento especializado proporciona una valiosa comprensión inicial del problema. Para mejorar la validez externa, se recomienda replicar el estudio con una muestra más amplia de profesionales en diferentes entornos clínicos y con diversas tecnologías de realidad virtual.

Fiabilidad

Para poder receptar todas las opiniones de los expertos sobre el *exergame* terapéutico con RV se procedió a grabar las respuestas de la entrevista con el permiso otorgado por los participantes. Esta medida evita introducir sesgos y asegura que las respuestas puedan ser analizadas con fidelidad.

7. Conclusiones y trabajo futuro

7.1. Conclusiones

En este capítulo, se evalúan los objetivos de la investigación y se analiza en qué medida se han cumplido, cuyo objetivo general fue: desarrollar un proceso de diseño de *exergames* para rehabilitación física destinado a ser usados en entornos de realidad virtual. Además, se detallan las principales contribuciones desde la perspectiva teórica y se ofrecen directrices clave para futuras investigaciones.

Se logró desarrollar un proceso para el diseño de *exergames* para la rehabilitación física que puede ser usado en entornos de realidad virtual. Dicho proceso expandió la metodología de Pirovano et al. (2016) [2], incorporando aspectos específicos de la realidad virtual (RV). Esta alineación facilitó la creación de *exergames* terapéuticos adaptados a las necesidades particulares de los pacientes en el ámbito terapéutico con dispositivos RV. Este proceso toma en cuenta diferentes elementos como son: la toma y definición de requisitos de los ejercicios de acuerdo a una terapia, el diseño basado en el usuario, la selección de software y hardware conjunto a las métricas para evaluar el progreso de un paciente, la gamificación y el monitoreo de las acciones del paciente, como la validación de personas expertas en el dominio.

Adicionalmente, se revisaron las soluciones existentes, analizando diversas tecnologías enfocadas a la creación de un proceso que guíe a un ingeniero de software. El objetivo fue identificar aspectos que faciliten la integración de soluciones en nuestro proceso, mejorando así la aplicabilidad del mismo en el desarrollo de *exergames* terapéuticos con RV. Se tomaron elementos presentes en la literatura explorada con respecto a los tratamientos, destacando las ventajas que permite el diseño *exergames* centrado en el usuario. La literatura identificó la necesidad de integrar a las partes interesadas dentro del desarrollo de la realidad virtual, por lo que nuestro proceso se ha alineado siguiendo estas recomendaciones. Por tal motivo, se ha integrado dentro de nuestro proceso la participación activa del fisioterapeuta conjunto con las diferentes partes interesadas como el ingeniero de software, experto en HCI, desarrollador de realidad virtual entre otros que se pudo observar en el proceso; siendo importante recalcar la opinión y participación de fisioterapeuta para la creación de un *exergame* terapéutico seguro. También, se identificó que la motivación es esencial para llevar una terapia que estimule al paciente a realizarla. Por esa razón, se buscó elementos que se integraron a nuestro proceso, dentro de la realidad virtual, que consideran aspectos que se deben incluir en un juego para hacerlos más atractivo para el usuario, siempre tomando en cuenta el objetivo de la terapia. Relacio-

nado con los aspectos de realidad virtual, se encontró que un componente fundamental en esta es la inmersión. Esto se refleja en una tarea del proceso propuesto, con la que se busca crear entornos virtuales inmersivos, que permitan una mejor experiencia de usuario. Por otro lado, fue importante recalcar la retroalimentación dentro de estas herramientas; debido a este motivo, se consideró incluir aspectos que indiquen esta necesidad dentro del proceso, tanto para el individuo que realiza el ejercicio, como para la retroalimentación de estos movimientos al fisioterapeuta para una identificación del progreso de su paciente.

Además, a través del cuasi-experimento, se validó la aplicación y viabilidad del proceso propuesto en la elaboración de un exergame terapéutico por parte de un ingeniero de software, enfocado en la RV. El experimento se centró en una parte esencial del ejercicio virtualizado, que consiste en el añadido de elementos de gamificación dentro del exergame. Además, se tuvo en cuenta que otras partes del proceso ya han sido validadas por Pirovano et al., [2], las cuales tuvieron pequeñas modificaciones para alinearlos a la realidad virtual y algunas fueron expandidas en las características mencionadas anteriormente. Bajo este criterio, no se incluyeron otras actividades dentro de esta experimentación. Con dicho contexto, los resultados del experimento indicaron que el proceso ha demostrado su utilidad, facilidad de uso y por ende existe la intención de usarlo en el desarrollo de exergames terapéuticos y su practicidad en contextos reales. Es importante destacar que, aunque el tamaño de la muestra limita la generalización de los resultados, esta primera aproximación es fundamental para una validación del proceso.

Sumado a ello, se recogieron las opiniones de fisioterapeutas sobre el *exergame* desarrollado, siguiendo las actividades del proceso propuesto. Los comentarios y la retroalimentación obtenidos fueron positivos, destacando la utilidad del exergame desarrollado a partir de nuestro proceso como una herramienta complementaria en la rehabilitación y su potencial para mejorar la adherencia a una terapia por parte de los pacientes. Se ha identificado que existe aceptación en el uso de esta herramienta para la integración de varias terapias; sin embargo, es importante destacar que muchas de estas terapias requerirían la supervisión inicial de un fisioterapeuta para controlar el progreso del paciente. Posteriormente, se podría plantear el uso autónomo por parte del paciente como una herramienta para una rehabilitación en casa. Además, es importante señalar que algunas terapias no podrían llevarse a cabo con la realidad virtual.

7.2. Trabajo futuro

En futuros trabajos, este trabajo de investigación podría ampliarse mediante una validación del proceso con un mayor número de expertos, tanto en campo de la fisioterapia como en el campo ingenieril, a fin de que dicho proceso tenga una mayor validez estadística. Adicionalmente, este proceso podría contemplar una nueva actividad que considere la prueba en pacientes reales, para tener una mayor retroalimentación en cuanto a la opinión del usuario del *exergame* generado.

Además, se podría revisar partes del proceso como la actividad de definición del ejercicio, donde se podría definir a modo de historias de usuario para considerar requisitos más difíciles de encontrar, como las posibles formas de adaptabilidad de un ejercicio. Otro caso de ampliación sería el utilizar una plantilla de usuario que considere condiciones previas del paciente de una forma más específica.

Finalmente, este trabajo podría utilizarse para el análisis de datos de las métricas en la realización del ejercicio. En una terapia a largo plazo, se podrían obtener datos del uso de estos *exergames* que ayuden a la precisión y personalización de los tratamientos para una mayor adaptación continua, así como identificar aquellos ejercicios que son más óptimos para emplearse en la realidad virtual.

Referencias

- [1] R. H. Sampieri, C. F. Collado, y M. del Pilar Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación Hernández Sampieri 6a Edición*. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014. [En línea]. Disponible: <https://books.google.com.ec/books?id=oLbjoQEACAAJ>
- [2] M. Pirovano, E. Surer, R. Mainetti, P. L. Lanzi, y N. A. Borghese, "Exergaming and rehabilitation: A methodology for the design of effective and safe therapeutic exergames," *Entertainment Computing*, vol. 14, pp. 55–65, 5 2016.
- [3] F. D. Davis, "Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology," *MIS Quarterly: Management Information Systems*, vol. 13, pp. 319–339, 1989.
- [4] D. Moody, "The method evaluation model: A theoretical model for validating information systems design methods," *ECIS 2003 Proceedings*, 1 2003. [En línea]. Disponible: <https://aisel.aisnet.org/ecis2003/79>
- [5] B. M. Ferreira, S. D. Barbosa, y T. Conte, "Pathy: Using empathy with personas to design applications that meet the users' needs," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 9731, pp. 153–165, 2016. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/304107891_PATHY_Using_Empathy_with_Personas_to_Design_Applications_that_Meet_the_Users'_Needs
- [6] S. Rogers, (PDF) *Level Up!: The Guide to Great Video Game Design* | Giang Trường - Academia.edu, 1ra ed., L. J. W. . Sons, Ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2010. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/77874545/Level_Up_The_Guide_to_Great_Video_Game_Design
- [7] G. F. Tondello, R. R. Wehbe, L. Diamond, M. Busch, A. Marczewski, y L. E. Nacke, "The gamification user types hexad scale," *CHI PLAY 2016 - Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, pp. 229–243, 10 2016. [En línea]. Disponible: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2967934.2968082>
- [8] J. Díaz, I. Harari, y A. Amadeo, *Guía de recomendaciones para diseño de software centrado en el usuario*. Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata, 01 2013.

- [9] J. R. J. Neo, A. S. Won, y M. M. C. Shepley, "Designing immersive virtual environments for human behavior research," *Frontiers in Virtual Reality*, vol. 2, p. 603750, 3 2021.
- [10] M. F. G. Bocco, C. L. J. Antonio, y M. G. P. Velthuis, *Métodos de investigación en ingeniería del software - Grupo Editorial RA-MA*. Ra-Ma, 2014. [En línea]. Disponible: https://www.ra-ma.es/libro/metodos-de-investigacion-en-ingenieria-del-software_48251/
- [11] T. Susi y M. Johannesson, "Serious games-an overview," *Technical Report HS- IKI -TR-07-001 School of Humanities and Informatics University of Skövde, Sweden*, 5 2007. [En línea]. Disponible: www.americasarmy.com;
- [12] D. R. Michael y S. L. Chen, *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005.
- [13] E. R. Høeg, J. R. Bruun-Pedersen, S. Cheary, L. K. Andersen, R. Paisa, S. Serafin, y B. Lange, "Buddy biking: a user study on social collaboration in a virtual reality exergame for rehabilitation," *Virtual Reality*, 3 2023.
- [14] J. E. Muñoz, J. F. Villada, J. Carlos, y G. Trujillo, "Exergames: una herramienta tecnológica para la actividad física," *Revista Médica de Risaralda*, 6 2013. [En línea]. Disponible: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistamedica/article/view/8527>
- [15] S. H. H. Shah, A. S. T. Karlsen, M. Solberg, y I. A. Hameed, "A social vr-based collaborative exergame for rehabilitation: codesign, development and user study," *Virtual Reality*, vol. 27, pp. 3403–3420, 12 2023. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-022-00721-8>
- [16] M. A. Tobaiqi, E. A. Albadawi, H. A. Fadlalmola, y M. S. Albadrani, "Application of virtual reality-assisted exergaming on the rehabilitation of children with cerebral palsy: A systematic review and meta-analysis," *Journal of Clinical Medicine*, vol. 12, p. 7091, 11 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/2077-0383/12/22/7091/htmhttps://www.mdpi.com/2077-0383/12/22/7091>
- [17] E. Dulau, C. R. Botha-Ravyse, y M. Luimula, "Virtual reality for physical rehabilitation: A pilot study how will virtual reality change physical therapy?" *2019 10th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom)*, 2019.
- [18] R. H. Osgouei, D. Soulsby, y F. Bello, "Rehabilitation exergames: Use of motion sensing and machine learning to quantify exercise performance in healthy volunteers,"

- JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, vol. 7, 7 2020. [En línea]. Disponible: <https://pmc/articles/PMC7463392//pmc/articles/PMC7463392/?report=abstracthttps://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7463392/>
- [19] M. Host, B. Regnell, y C. Wohlin, "Using students as subjects - a comparative study of students and professionals in lead-time impact assessment," *Empirical Software Engineering*, vol. 5, pp. 201–214, 11 2000. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1026586415054>
- [20] F. Laamarti, M. Eid, y A. E. Saddik, "An overview of serious games," 2014.
- [21] E. S. de Murieta, M. T. Cisneros, E. S. de Murieta, y M. T. Cisneros, "Rehabilitación y capacidad funcional en la salud del siglo xxi," *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, vol. 45, 9 2022. [En línea]. Disponible: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272022000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=eshttps://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1137-66272022000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [22] F. Lourenco, O. Postolache, y G. Postolache, "Tailored virtual reality and mobile application for motor rehabilitation," *I2MTC 2018 - 2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference: Discovering New Horizons in Instrumentation and Measurement, Proceedings*, pp. 1–6, 5 2018. [En línea]. Disponible: <https://typeset.io/papers/tailored-virtual-reality-and-mobile-application-for-motor-vu169j3v37>
- [23] C. Condon, W. T. Lam, C. Mosley, y S. Gough, "A systematic review and meta-analysis of the effectiveness of virtual reality as an exercise intervention for individuals with a respiratory condition." *Advances in Simulation*, vol. 5, pp. 1–17, 11 2020. [En línea]. Disponible: <https://typeset.io/papers/a-systematic-review-and-meta-analysis-of-the-effectiveness-1s3wkzzeav>
- [24] S. H. H. Shah, A. S. T. Karlsen, M. Solberg, y I. A. Hameed, "A social vr-based collaborative exergame for rehabilitation: codesign, development and user study," *Virtual Reality*, 12 2022.
- [25] Y. Chen y Z. Wu, "A review on ergonomics evaluations of virtual reality," *Work (Reading, Mass.)*, vol. 74, pp. 831–841, 3 2023. [En línea]. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36442175/>
- [26] P. Campo-Prieto, J. M. Cancela, y G. Rodríguez-Fuentes, "Immersive virtual reality as physical therapy in older adults: present or future (systematic review)," *Virtual Reality*,

- vol. 25, pp. 801–817, 9 2021. [En línea]. Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10055-020-00495-x>
- [27] I. P. Odenigbo, J. K. Reen, C. Eneze, A. Friday, y R. Orji, “Virtual, augmented, and mixed reality interventions for physical activity: A systematic review /,” *SeGAH 2022 - 2022 IEEE 10th International Conference on Serious Games and Applications for Health*, 2022.
- [28] R. Rotikan, J. Y. Mambu, R. J. Lontaan, F. D. S. Umar, M. Mawuntu, J. S. Informasi, F. I. Komputer, y S. Utara, “Virtual runner: A virtual reality-based exergaming application using accelerometer virtual runner: Sebuah exergaming berbasis virtual reality menggunakan accelerometer,” *DESEMBER 2022 Cogito Smart Journal* |, vol. 8, p. 2022, 2022.
- [29] A. Perez-Munoz, P. Ingavelez-Guerra, y Y. Robles-Bykbaev, “New approach of serious games in ludic complements created for rehabilitation therapies in children with disabilities using kinect,” *Proceedings of the 2018 IEEE 25th International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing, INTERCON 2018*, 8 2018. [En línea]. Disponible: <https://typeset.io/papers/new-approach-of-serious-games-in-ludic-complements-created-sv4ob0vc6e>
- [30] B. Laurel, R. Strickland, y R. Tow, “Placeholder: Landscape and narrative in virtual environments virtual reality as entertainment,” *Computer Graphics*, 1994.
- [31] B. S. Suguey, A. Uchuya, y L. E. G. Peña, “Juegos motores para fortalecer la psicomotricidad gruesa en el nivel inicial tesis para optar el grado académico de: Maestra en educación.”
- [32] Unity, 1 2024. [En línea]. Disponible: <https://unity.com/es>
- [33] U. Labs, 1 2024. [En línea]. Disponible: <https://unity.com/es/labs>
- [34] J. D. Anacona, M. E.E., y G. C.A., “Aplicación de los metaversos y la realidad virtual en la enseñanza,” *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 13, pp. 59 – 67, 06 2019. [En línea]. Disponible: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672019000100059&nrm=iso
- [35] G. Frasca, “Videogames of the oppressed: Videogames as a means for critical thinking and debate,” 2001.
- [36] B. Preim, R. Raidou, N. Smit, y K. Lawonn, “Virtual reality in treatment and rehabilitation,” *Visualization, Visual Analytics and Virtual Reality in Me-*

- dicine*, pp. 449–476, 1 2023. [En línea]. Disponible: <https://typeset.io/papers/virtual-reality-in-treatment-and-rehabilitation-3p6jnio3>
- [37] S. Deterding, R. Khaled, L. E. Nacke, y D. Dixon, “Gamification: Toward a definition,” in *CHI 2011 Gamification Workshop Proceedings*, 2011.
- [38] A. J. Daley, “Can exergaming contribute to improving physical activity levels and health outcomes in children?” *Pediatrics*, vol. 124, pp. 763–771, 8 2009. [En línea]. Disponible: <https://pediatrics/article/124/2/763/72382/Can-Exergaming-Contribute-to-Improving-Physical><https://dx.doi.org/10.1542/peds.2008-2357>
- [39] E. R. Høeg, B. Becermen, J. R. Bruun-Pedersen, y S. Serafin, “Co-creating virtual reality applications for motor rehabilitation with physiotherapists,” *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, vol. 328 LNICST, pp. 379–389, 11 2019.
- [40] M. Agmon, C. K. Perry, E. Phelan, G. Demiris, y H. Q. Nguyen, “A pilot study of wii fit exergames to improve balance in older adults,” *Journal of Geriatric Physical Therapy*, vol. 34, pp. 161–167, 10 2011. [En línea]. Disponible: https://journals.lww.com/jgpt/fulltext/2011/10000/a_pilot_study_of_wii_fit_exergames_to_improve.3.aspx
- [41] E. Biddiss y J. Irwin, “Active video games to promote physical activity in children and youth: a systematic review,” *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, vol. 164, pp. 664–672, 7 2010. [En línea]. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20603468/>
- [42] A. Aloba, G. Flores, J. Langham, Z. McFadden, J. Bell, N. Dagar, S. Esmaili, y L. Anthony, “Toward exploratory design with stakeholders for understanding exergame design,” *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 4 2020. [En línea]. Disponible: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3334480.3382784>
- [43] R. Tahmosybayat, K. Baker, A. Godfrey, N. Caplan, y G. Barry, “Move well: Design deficits in postural based exergames. what are we missing?” *2018 IEEE Games, Entertainment, Media Conference, GEM 2018*, pp. 24–27, 10 2018.
- [44] M. T. Baldassarre, D. Caivano, □. S. Romano, F. Cagnetta, □. V. Fernandez-Cervantes, y □. E. Stroulia, “Phydsl k : a model-driven framework for generating exergames,” *Springer Journal*, vol. 80, pp. 27 947–27 971, 2021. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s11042-021-10980-3>

- [45] L. P. Matjeka y D. Svanas, "Gamifying an exergame co-designworkshop - playful involvement of experts in the design process o balance training exergames," *2018 IEEE 6th International Conference on Serious Games and Applications for Health, SeGAH 2018*, pp. 1–8, 6 2018.
- [46] K. M. Gerling, J. Schild, y M. Masuch, "Exergame design for elderly users: The case study of silverbalance," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 66–69, 2010. [En línea]. Disponible: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1971630.1971650>
- [47] S. Ghisio, B. Amadeo, C. Tacchino, K. Kolykhalova, P. Coletta, S. Fiscon, G. Volpe, N. Ferrari, L. Primavera, P. Moretti, y A. Camurri, "Designing a platform for child rehabilitation exergames based on interactive sonification of motor behavior," *ACM International Conference Proceeding Series*, pp. 208–213, 11 2018. [En línea]. Disponible: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3284869.3284919>
- [48] S. Yoo, C. Parker, y J. Kay, "Designing a personalized vr exergame," *UMAP 2017 - Adjunct Publication of the 25th Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, pp. 431–435, July 2017. [En línea]. Disponible: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3099023.3099115>
- [49] E. R. Høeg, B. Becermen, J. R. Bruun-Pedersen, y S. Serafin, "Co-creating virtual reality applications for motor rehabilitation with physiotherapists," *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST*, vol. 328 LNICST, pp. 379–389, 11 2019.
- [50] E. Wiskerke, J. Kool, R. Hilfiker, K. M. Sattelmayer, y G. Verheyden, "Determining the optimal virtual reality exergame approach for balance therapy in persons with neurological disorders using a rasch analysis: Longitudinal observational study," *JMIR serious games*, vol. 10, 1 2022. [En línea]. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35315785/>
- [51] C. Gmez-Portes, C. Lacave, A. I. Molina, y D. Vallejo, "Home rehabilitation based on gamification and serious games for young people: A systematic mapping study," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, pp. 1–20, 12 2020.
- [52] B. Ferreira y P. Menezes, "Immersive serious games for post-stroke motor rehabilitation," *Proceedings of the 2019 5th Experiment at International Conference, exp.at 2019*, pp. 237–238, 6 2019. [En línea]. Disponible: <https://typeset.io/papers/immersive-serious-games-for-post-stroke-motor-rehabilitation-w1hrj69tbt>

- [53] W. Ismail, I. A. A. Q. Al-Hadi, C. Grosan, y R. Hendradi, "Improving patient rehabilitation performance in exercise games using collaborative filtering approach," *PeerJ Computer Science*, vol. 7, pp. 1–29, 2021.
- [54] D. Vallejo, C. Gmez-Portes, J. Albusac, C. Glez-Morcillo, y J. J. Castro-Schez, "Personalized exergames language: A novel approach to the automatic generation of personalized exergames for stroke patients," *Applied Sciences* 2020, Vol. 10, Page 7378, vol. 10, p. 7378, 10 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/20/7378/htm><https://www.mdpi.com/2076-3417/10/20/7378>
- [55] V. Z. Pérez, J. C. Yepes, J. F. Vargas, J. C. Franco, N. I. Escobar, L. Betancur, J. Sánchez, y M. J. Betancur, "Virtual reality game for physical and emotional rehabilitation of landmine victims," *Sensors*, vol. 22, p. 5602, 8 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/15/5602/htm><https://www.mdpi.com/1424-8220/22/15/5602>
- [56] C. Luis y M. María, "Repositorio institucional universidad de cuenca: Propuesta y validación de un método orientado al diseño de exergames terapéuticos desplegados en ambientes web y móviles." Tesis pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca, 2023, url = <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/42504>.
- [57] M. J. V. Gil, G. Gonzalez-Medina, D. Lucena-Anton, V. Perez-Cabezas, M. D. C. Ruiz-Molinero, y R. Martín-Valero, "Augmented reality in physical therapy: Systematic review and meta-analysis," *JMIR Serious Games*, vol. 9, 10 2021. [En línea]. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35111132/><https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35111132/>
- [58] P. Elena, S. Demetris, M. Christina, y P. Marios, "Differences between exergaming rehabilitation and conventional physiotherapy on quality of life in parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis," *Frontiers in Neurology*, vol. 12, p. 683385, 8 2021.
- [59] C. Mennella, U. Maniscalco, G. D. Pietro, y M. Esposito, "A deep learning system to monitor and assess rehabilitation exercises in home-based remote and unsupervised conditions," *Computers in biology and medicine*, vol. 166, 11 2023. [En línea]. Disponible: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37742419/>
- [60] K. S. Lee, J. H. Park, J. Beom, y H. S. Park, "Design and evaluation of passive shoulder joint tracking module for upper-limb rehabilitation robots," *Frontiers in Neurorobotics*, vol. 12, 7 2018.

- [61] “Pose landmark detection guide | google ai edge | google for developers.” [En línea]. Disponible: https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker
- [62] V. R. Basili y H. D. Rombach, “The tame project: Towards improvement-oriented software environments,” *IEEE Trans. Software Eng.*, vol. 14, pp. 758–773, 1988. [En línea]. Disponible: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:41577460>
- [63] P. Jolicoeur, “The normal distribution,” *Introduction to Biometry*, pp. 30–35, 1999. [En línea]. Disponible: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-4777-8_6
- [64] IBM, “IBM SPSS Statistics,” <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics>, accedido el 16 de julio de 2024.
- [65] F. Wilcoxon, *Individual Comparisons by Ranking Methods*. Biometrics Bulletin, 1945, vol. 1, num. 6.
- [66] Datatab, “Causalidad,” <https://datatab.es/tutorial/causality>, accedido el 16 de julio de 2024.
- [67] M. Ferraro, A. Colubi, G. González-Rodríguez, y R. Coppi, “A determination coefficient for a linear regression model with imprecise response,” *Environmetrics*, vol. 22, 2011.
- [68] T. Cook y D. Campbell, *Quasi-Experimentation: Design and Analysis Issues for Field Settings*. Houghton Mifflin, 1979.
- [69] R. Yin, *Case Study Research*, ser. Applied social research methods series. SAGE Publications, 2014. [En línea]. Disponible: <https://books.google.com.ec/books?id=Cdk5DQAAQBAJ>

Anexos**Anexo A. Plantillas del proceso VR-TEP****Plantilla Documento de terapia****Definición del ejercicio**

Dominio:	Habilidades de entrenamiento:
-----------------	--

Objetivo de la terapia

--

Descripción completa

--

Ejercicios

Ejercicio	Imagen descriptiva

Figura 1: Plantilla de Documento de la terapia. Elaboración propia.

Anexo B. Instanciación del proceso

Plantilla Documento de la terapia

Definición del ejercicio

Dominio: Rehabilitación en el grupo muscular del hombro

Habilidades de entrenamiento:

- Control
- Movilidad

Objetivo de la terapia

Mejorar el control motor de miembro superior (derecho y/o izquierdo), mediante ejercicios funcionales de la articulación glenohumeral, codo, muñeca y dedos para reintegrar al paciente en sus actividades de la vida diaria.

Descripción completa

El paciente debe realizar ejercicios para lograr un completo control motor del hombro. El paciente debe realizar ejercicios en los que pueda mover su hombro en las siguientes direcciones: anteroposterior, rotaciones, abducción, aducción, finalmente en todas las direcciones (circunducción).

Ejercicios

Desplazamiento lateral con brazo extendido: El paciente con flexión de hombro derecho de 45 grados y extensión completa de codo derecho, realiza la toma de objeto colocado en extremo contrario (contralateral), con flexión de dedos, dirige el objeto pasando por el eje axial del cuerpo hacia el lado homolateral. El ejercicio culmina con la repetición y vuelta a la toma inicial del objeto en la misma secuencia.

Dosificación: 6 series de 10 repeticiones.

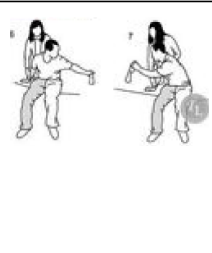


Figura 2: Instanciación de la plantilla para la rehabilitación del hombro.

Anexo C. Caso de estudio con fisioterapeutas



Figura 3: Prueba con el primer sujeto experimental.



Figura 4: Prueba con el segundo sujeto experimental.