



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



TFG del Grado en Ingeniería
Informática

**VRRecoveryGym: entorno de
realidad virtual para personas
con problemas motrices**



Presentado por Rodrigo Grande Muñoz
en Universidad de Burgos — 15 de mayo
de 2025

Tutores: Álvar Arnaiz González, Héctor Royo
Concepción y Luis Fuente Ibáñez



UNIVERSIDAD DE BURGOS
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
Grado en Ingeniería Informática



D. Álgar Arnaiz González, profesor del departamento de Ingeniería Informática, área de Lenguajes y Sistemas Informáticos.

Expone:

Que el alumno D. Rodrigo Grande Muñoz, con DNI 72901698R, ha realizado el Trabajo final de Grado en Ingeniería Informática titulado «VRRecoveryGym: entorno de realidad virtual para personas con problemas motrices».

Y que dicho trabajo ha sido realizado por el alumno bajo la dirección del que suscribe, en virtud de lo cual se autoriza su presentación y defensa.

En Burgos, 15 de mayo de 2025

Vº. Bº. del Tutor:

Vº. Bº. del co-tutor:

D. Álgar Arnaiz González

D. Héctor Royo Concepción

Vº. Bº. del co-tutor:

D. Luis Fuente Ibáñez

Resumen

El objetivo de este proyecto es desarrollar un *entorno virtual* en el que los usuarios puedan realizar estos ejercicios desde casa mediante herramientas de realidad virtual. Esta solución permitirá no solo la realización remota de los ejercicios, sino también un seguimiento preciso de la actividad de cada usuario, registrando parámetros que puedan ser consultados en remoto por profesionales del sector.

Este proyecto se realiza en colaboración con la fundación ASPAYM y HP, cuya misión es mejorar la calidad de vida de las personas con lesión medular y discapacidad física grave. Con el objetivo de favorecer su recuperación, la fundación ha desarrollado una serie de puzzles impresos en 3D que fomentan movimientos específicos, como la extensión del codo, la abducción del brazo y el giro de la muñeca. Estos ejercicios han demostrado ser efectivos, pero requieren la presencia física de los usuarios en la asociación y la supervisión de un profesional.

Para el desarrollo de la aplicación se utilizará el motor Unreal Engine, empleando tanto C++ como *Blueprint* para la programación de la lógica del sistema.

Se busca ofrecer una solución innovadora y accesible que facilite la rehabilitación motriz, mejorando la autonomía de los usuarios y optimizando el seguimiento terapéutico a través de la tecnología de realidad virtual.

Descriptores

puzzles, *entorno virtual*, seguimiento remoto, rehabilitación motriz, Unreal Engine

Abstract

The goal of this project is to develop a *virtual environment* where users can perform these exercises from home using virtual reality tools. This solution will not only enable remote execution of exercises but also allow for precise tracking of each user's activity, recording parameters that can be remotely accessed by healthcare professionals.

This project is carried out in collaboration with the ASPAYM Foundation and HP, whose mission is to improve the quality of life of people with spinal cord injuries and severe physical disabilities. In order to support their recovery, the foundation has developed a series of 3D-printed puzzles designed to encourage specific movements, such as elbow extension, arm abduction, and wrist rotation. These exercises have proven to be effective, but they require users to be physically present at the association and supervised by a professional.

The application will be developed using the Unreal Engine, utilizing both C++ and *Blueprint* for system logic programming.

This project aims to provide an innovative and accessible solution that facilitates motor rehabilitation, enhances users' autonomy, and optimizes therapeutic monitoring through virtual reality technology.

Keywords

puzzles, *virtual environment*, remote monitoring, motor rehabilitation, Unreal Engine

Índice general

Índice general	iii
Índice de figuras	iv
Índice de tablas	v
1. Introducción	1
2. Objetivos del proyecto	3
2.1. Objetivos	4
3. Conceptos teóricos	7
3.1. Realidad virtual	7
3.2. Diseño de videojuegos para rehabilitación	9
4. Técnicas y herramientas	11
4.1. Herramientas	11
5. Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto	15
6. Trabajos relacionados	17
7. Conclusiones y Líneas de trabajo futuras	19
Bibliografía	21

Índice de figuras

Índice de tablas

1. Introducción

Descripción del contenido del trabajo y del estructura de la memoria y del resto de materiales entregados.

2. Objetivos del proyecto

Este trabajo se enmarca en el ámbito de la rehabilitación física asistida por tecnologías inmersivas. Se propone el desarrollo de una herramienta innovadora en forma de entorno de realidad virtual para favorecer la recuperación motora de personas con lesión medular o discapacidad física en las extremidades superiores mediante la realización de puzles.

Actualmente, se utilizan puzles físicos impresos en 3D para promover movimientos específicos que permiten la rehabilitación de estas personas. Sin embargo, este enfoque presencial limita la autonomía de los usuarios y requiere supervisión constante por parte de profesionales.

El presente proyecto busca trasladar estos ejercicios a un entorno virtual accesible desde el domicilio del usuario. Mediante el uso de cascos de realidad virtual y controladores (o *hand tracking* en un futuro), se desarrollarán actividades interactivas que simulan los puzles físicos. Además, se recopilarán métricas clave sobre la actividad motriz y el progreso del usuario, que podrán ser consultadas por profesionales de forma remota mediante un CSV exportado con todos los datos relevantes sobre el progreso del paciente en los puzles.

El desarrollo se llevará a cabo utilizando Unreal Engine, combinando programación en C++ y *Blueprint*, así como recursos 3D entregados, ya realizados por la fundación, y el *marketplace* de Unreal. El proyecto se beneficia del asesoramiento de los profesionales de ASPAYM para garantizar la validez terapéutica del sistema.

2.1. Objetivos

Los objetivos se dividen en dos categorías: técnicos y de desarrollo software.

Objetivos técnicos

1. **Simular puzzles físicos en un entorno de realidad virtual:** reproducir los ejercicios físicos diseñados por ASPAYM mediante interacción virtual precisa.
2. **Registrar métricas motrices relevantes:** como número de repeticiones, rangos de movimiento, tiempos de resolución o errores durante la actividad.
3. **Facilitar la evaluación del progreso del usuario:** mediante informes visuales y datos exportables para su análisis por parte de profesionales.
4. **Permitir el uso remoto de la herramienta:** asegurando accesibilidad desde entornos domésticos sin supervisión directa constante.
5. **Explorar la viabilidad del *hand tracking*:** como alternativa a los mandos que acompañan las gafas de realidad virtual, buscando una experiencia más natural y accesible.
6. **Garantizar la estabilidad y rendimiento del entorno virtual:** con pruebas de usabilidad y detección temprana de errores.

Objetivos de desarrollo software

1. **Desarrollar el entorno de realidad virtual utilizando Unreal Engine:** combinando C++ y *Blueprints* para lograr un equilibrio entre rendimiento y modularidad.
2. **Implementar y optimizar modelos 3D con Blender:** representando fielmente los puzzles físicos y el entorno de trabajo.
3. **Seguir un marco ágil de desarrollo (SCRUM):** organizando el trabajo en *sprints* y manteniendo una comunicación clara mediante GitLab.
4. **Realizar pruebas funcionales:** que permitan verificar la funcionalidad del sistema en distintas etapas de desarrollo.

5. **Preparar el sistema para su despliegue en dispositivos de realidad virtual:** inicialmente en una versión específica de dispositivo, con posibilidad de extenderlo a más dispositivos.

3. Conceptos teóricos

En esta sección se presentan los fundamentos teóricos necesarios para comprender el desarrollo y la implementación del presente Trabajo de Fin de Grado. Se abordan las principales definiciones, teorías y modelos que sustentan la investigación, así como las tecnologías y herramientas empleadas.

3.1. Realidad virtual

Se entiende por realidad virtual (RV) la tecnología que permite crear entornos digitales tridimensionales, interactivos y en tiempo real, de forma que el usuario perciba la sensación de “estar presente” en dicho entorno. Este grado de inmersión y “telepresencia” se consigue mediante la combinación de hardware (casco HMD, sistemas de tracking, interfaces hápticas) y software (motores gráficos, algoritmos de simulación) que actualizan la escena virtual en función de los movimientos y acciones del usuario [19, 17].

Dentro del estudio de la RV suelen distinguirse tres características fundamentales:

Inmersión: grado en que el sistema aísla y sustituye estímulos sensoriales reales por estímulos generados artificialmente, creando la impresión directa de “estar dentro” del entorno virtual [12].

Presencia: sensación subjetiva de “estar realmente” en el escenario virtual, más allá de la mera percepción sensorial [17, 18].

Interactividad: capacidad del sistema para registrar las acciones del usuario y modificar el entorno virtual de forma coherente y en tiempo real [19, 12].

Estas características hacen de la RV una herramienta poderosa en ámbitos tan diversos como la simulación de entrenamiento, la rehabilitación médica, la visualización arquitectónica o la investigación científica.

Componentes de un sistema de RV

Un sistema de RV típico se compone de [17, 2]:

- **Dispositivo de visualización (Head-Mounted Display, HMD):** muestra las imágenes estereoscópicas e incorpora sensores de orientación (giroscopios, acelerómetros).
- **Sistema de seguimiento (tracking):** rastrea la posición y orientación de la cabeza, manos u otros objetos mediante cámaras, emisores infrarrojos o sistemas magnéticos.
- **Dispositivos de interacción:** mandos, guantes hápticos o superficies táctiles que permiten manipular objetos virtuales.
- **Motor gráfico y software de simulación:** genera las escenas 3D, gestiona física, colisiones y comportamientos de los elementos del entorno.

Taxonomía: Continuo de la virtualidad

Milgram y Kishino propusieron el concepto de continuo de la virtualidad, que va desde la realidad completamente física hasta la realidad completamente virtual, englobando la realidad aumentada (AR) y la realidad mixta asistida [12]:

- **Realidad Aumentada (AR):** superposición de información virtual sobre el entorno real.
- **Realidad Mixta (MR):** fusión de elementos reales y virtuales que interactúan entre sí.
- **Realidad Virtual (RV):** reemplazo total del entorno real por uno virtual.

Modalidades de uso y aplicaciones

Según el grado de inmersión y el tipo de interacción, los sistemas de RV pueden clasificarse en:

- **RV de escritorio:** utiliza pantallas convencionales y controladores estándar; menor inmersión, pero accesible.
- **RV inmersiva:** emplea HMDs y sistemas de tracking avanzado; alta inmersión y presencia [2].
- **CAVEs:** espacios cerrados con pantallas proyectadas en paredes y suelo; múltiples usuarios simultáneos.

Las aplicaciones más difundidas incluyen simuladores de vuelo y conducción, terapias de exposición en salud mental, entrenamiento quirúrgico y entornos de aprendizaje inmersivo.

3.2. Diseño de videojuegos para rehabilitación

El uso de videojuegos para la rehabilitación física se enmarca dentro del concepto de *serious games*, definido como aquellos juegos cuyo principal objetivo va más allá del entretenimiento, buscando también la educación, la formación o la mejora de la salud [5].

Principios de diseño

El desarrollo de videojuegos para rehabilitación debe considerar aspectos tanto lúdicos como terapéuticos [8]. Entre los principales principios de diseño se encuentran:

- **Interactividad:** permite al usuario manipular y explorar el entorno, facilitando el aprendizaje y la mejora de habilidades motoras.
- **Feedback inmediato:** el sistema debe ofrecer respuestas instantáneas a las acciones del usuario, reforzando el progreso [3].
- **Dificultad progresiva:** las tareas deben adaptarse al nivel de capacidad del paciente, aumentando la complejidad de forma gradual para evitar la frustración [20].

- **Repetición y refuerzo positivo:** elementos clave en la rehabilitación física para promover la neuroplasticidad.[9].

Gamificación y motivación

La gamificación introduce mecánicas de juego (puntos, logros, niveles) que aumentan la motivación y el compromiso del usuario [16]. En el caso del presente proyecto, la superación de puzzles y la obtención de logros sirven como incentivo para continuar con las sesiones terapéuticas.

Accesibilidad y consideraciones éticas

Los videojuegos de rehabilitación deben garantizar la accesibilidad a personas con diferentes grados de discapacidad. Además, se debe asegurar que el uso de la tecnología no sustituya la supervisión profesional, sino que actúe como complemento [15].

4. Técnicas y herramientas

En esta sección se presentan algunas de las herramientas fundamentales empleadas en el desarrollo del proyecto.

4.1. Herramientas

Unreal Engine

Unreal Engine es un motor gráfico y de desarrollo de juegos en tiempo real desarrollado por Epic Games. Su arquitectura modular y su potente editor visual permiten diseñar, iterar y desplegar entornos 3D de alta fidelidad para aplicaciones que van desde videojuegos hasta simulaciones VR y AR. Para este proyecto se ha utilizado Unreal Engine 5, aprovechando sus siguientes características principales:

- **Editor de niveles y blueprints:** interfaz *What You See Is What You Get* para construir escenas y lógica de juego mediante nodos, sin necesidad de programar directamente en C++.
- **Renderizado de última generación:** soporte para Nanite (geometría virtualizada) y Lumen (iluminación global dinámica), que permiten obtener gráficos realistas en tiempo real.
- **Soporte nativo de Realidad Virtual:** integración con SDKs de dispositivos HMD (Oculus, SteamVR, etc.), sistemas de tracking y controladores hápticos.

Para la integración de la interfaz de usuario en RV se ha empleado el sistema UMG (Unreal Motion Graphics), lo que ha permitido diseñar menús y HUDs directamente dentro del entorno 3D.

Blueprints

Las Blueprints constituyen el sistema de *scripting* visual de Unreal Engine que permite definir la lógica de juego y comportamiento de objetos sin escribir código en C++ directamente. Basado en un paradigma de programación orientada a objetos y data flow, Blueprints ofrece una interfaz de nodos conectables que representan:

Clases y Actores: cada Blueprint es esencialmente una subclase de *UObject* o *AActor*, con variables (propiedades), funciones y eventos propios.

Graph Editor: el Event Graph agrupa nodos de eventos (p. ej., Begin-Play, Tick, entradas de usuario) con nodos de ejecución (funciones, macros, secuencias lógicas) que conectan flujos de datos y control.

Construction Script: un grafo especial que se ejecuta en el editor para inicializar propiedades y componentes antes del runtime.

Typed Nodes: Blueprints maneja múltiples tipos de nodos (*“Event”*, *“Function”*, *“Macro”*, *“Interface”*, *“Custom Event”*), cada uno con firma de entrada/salida, lo que facilita la reutilización de lógica.

Compilación y VM: al guardar un Blueprint, Unreal compila el grafo a un *bytecode* que corre en la *Blueprint Virtual Machine*, garantizando rendimiento y depuración (*breakpoints*, *watch variables*) similares a código nativo [6].

Blender

Blender es una suite de creación 3D de código abierto que incluye herramientas para modelado, escultura, texturizado y exportación de geometrías. En este proyecto, su uso se ha centrado exclusivamente en la preparación de los modelos 3D proporcionados en formato STL y su posterior exportación para Unreal Engine:

- **Ajuste de escala y orientación:** normalización de las dimensiones del modelo y alineación de los ejes para que coincidan con las unidades y el sistema de coordenadas de Unreal Engine.

- **Conversión y exportación:** exportación del modelo en formatos compatibles (FBX u OBJ), asegurando que las normales de las caras permanezcan orientadas correctamente y que no se pierda información geométrica al importar en Unreal Engine.

Dispositivos y hardware

Para la ejecución y pruebas del proyecto se ha utilizado el dispositivo de realidad virtual **Meta Quest 2**, un sistema autónomo de RV que combina alta calidad gráfica con un sistema de seguimiento preciso y facilidad de uso [14].

Las Meta Quest 2 permiten una experiencia inmersiva sin necesidad de conexión a un ordenador externo, lo que facilita su uso en entornos clínicos y domésticos, aportando flexibilidad y autonomía al paciente durante las sesiones de rehabilitación.

El dispositivo cuenta con dos controladores inalámbricos que permiten una interacción natural mediante detección de movimientos y pulsaciones, esenciales para la manipulación de los puzles y la navegación en el entorno virtual. Además, su sistema de seguimiento *inside-out* utiliza cámaras integradas para detectar la posición y orientación de la cabeza y las manos del usuario, eliminando la necesidad de estaciones base externas.

Para el desarrollo y pruebas se ha empleado un ordenador personal compatible con las exigencias de Unreal Engine y la transmisión vía *Link* para conectar las Meta Quest 2 al entorno de desarrollo cuando ha sido necesario.

La elección de este hardware se ha basado en la disponibilidad del mismo para ser utilizado.

5. Aspectos relevantes del desarrollo del proyecto

Este apartado pretende recoger los aspectos más interesantes del desarrollo del proyecto, comentados por los autores del mismo. Debe incluir desde la exposición del ciclo de vida utilizado, hasta los detalles de mayor relevancia de las fases de análisis, diseño e implementación. Se busca que no sea una mera operación de copiar y pegar diagramas y extractos del código fuente, sino que realmente se justifiquen los caminos de solución que se han tomado, especialmente aquellos que no sean triviales. Puede ser el lugar más adecuado para documentar los aspectos más interesantes del diseño y de la implementación, con un mayor hincapié en aspectos tales como el tipo de arquitectura elegido, los índices de las tablas de la base de datos, normalización y desnormalización, distribución en ficheros³, reglas de negocio dentro de las bases de datos (EDVHV GH GDWRV DFWLYDV), aspectos de desarrollo relacionados con el WWW... Este apartado, debe convertirse en el resumen de la experiencia práctica del proyecto, y por sí mismo justifica que la memoria se convierta en un documento útil, fuente de referencia para los autores, los tutores y futuros alumnos.

6. Trabajos relacionados

Este proyecto se enmarca en la intersección de la realidad virtual, los videojuegos y la rehabilitación motora. Se han identificado diversas líneas de investigación relevantes, que se detallan a continuación.

Realidad virtual inmersiva para rehabilitación motora

La realidad virtual inmersiva ha demostrado ser efectiva en la rehabilitación de extremidades superiores, especialmente en pacientes que han sufrido accidentes cerebrovasculares. Estudios recientes como en el artículo *"Virtual Reality Therapy for Upper Limb Motor Impairments in Stroke Patients: A Meta-Analysis"* [7], indican que la combinación de RV con terapias tradicionales mejora la función motora y la destreza manual, siendo más efectiva durante las etapas aguda y subaguda de la recuperación.

Además, la VR permite a los pacientes realizar tareas funcionales repetitivas de manera lúdica, aumentando la adherencia al tratamiento y la motivación [13].

Desarrollo de videojuegos terapéuticos con Unity y Unreal Engine

En esta sección, es relevante citar el trabajo *"Design and usability evaluation of an immersive virtual reality mirrored hand system for upper limb stroke rehabilitation"* [10]. Se ha desarrollado un sistema de realidad virtual inmersiva con actividades de la vida real, como cocinar o conducir, para la rehabilitación del miembro superior en las personas con accidentes cerebrovasculares.

Asimismo, proponen un tipo de videojuego interactivo que combina el juego con la actividad física como terapia virtual que utiliza sensores portátiles inteligentes para la rehabilitación de la extremidad superior, capturando movimientos de la mano y el codo para personalizar la terapia, recogido en el siguiente trabajo [1].

Gamificación y motivación en la terapia VR

La gamificación en la VR ha mostrado beneficios en la rehabilitación, como la mejora de la función motora y la reducción del dolor percibido. Por ejemplo, en el artículo *"Playing your pain away: designing a virtual reality physical therapy for children with upper limb motor impairment"* [11], se ha diseñado una terapia física de realidad virtual para niños con discapacidad motora en las extremidades superiores, mejorando la duración del ejercicio y produciendo emociones positivas hacia la terapia.

Integración de VR y robótica en la rehabilitación

La combinación de VR con dispositivos robóticos ha sido explorada para mejorar la rehabilitación de la extremidad superior. El estudio *"Immersive Virtual Reality and Robotics for Upper Extremity Rehabilitation"* [4], introdujo una solución de rehabilitación virtual que combina VR con robótica y sensores portátiles para analizar los movimientos de la articulación del codo, mostrando ventajas potenciales en un enfoque inmersivo y multisensorial.

7. Conclusiones y Líneas de trabajo futuras

Todo proyecto debe incluir las conclusiones que se derivan de su desarrollo. Éstas pueden ser de diferente índole, dependiendo de la tipología del proyecto, pero normalmente van a estar presentes un conjunto de conclusiones relacionadas con los resultados del proyecto y un conjunto de conclusiones técnicas. Además, resulta muy útil realizar un informe crítico indicando cómo se puede mejorar el proyecto, o cómo se puede continuar trabajando en la línea del proyecto realizado.

Bibliografía

- [1] L. Baron, J. Gutiérrez, and R. Ramírez. Virtual therapy exergame for upper extremity rehabilitation using smart wearable sensors. *arXiv preprint arXiv:2302.08573*, 2023.
- [2] Grigore Burdea and Philippe Coiffet. *Virtual Reality Technology*. Wiley-Interscience, 2003.
- [3] M. S. Cameirao et al. The impact of virtual reality based rehabilitation on stroke patients. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 18(5):531–538, 2010.
- [4] V. Chheang, J. Sim, and H. Le. Immersive virtual reality and robotics for upper extremity rehabilitation. *arXiv preprint arXiv:2304.11110*, 2023.
- [5] P. David et al. *Serious games: mechanisms and effects*. Routledge, 2016.
- [6] Epic Games. Blueprint Visual Scripting in Unreal Engine. <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine>, 2025.
- [7] M. Gandolfi, N. Valè, E. Dimitrova, et al. Virtual reality therapy for upper limb motor impairments in stroke patients: A meta-analysis. *Journal of Rehabilitation Research*, 2024.
- [8] J. A. Greene et al. Virtual reality and interactive video game technology for arm and hand rehabilitation. *Stroke Research and Treatment*, 2016.
- [9] M. K. Holden. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *CyberPsychology and Behavior*, 8(3):187–211, 2005.

- [10] S. Kim, Y. Yoon, and H. Jang. Design and usability evaluation of an immersive virtual reality mirrored-hand system for upper limb rehabilitation. *Scientific Reports*, 2025.
- [11] J. Maldonado, L. Serrano, and H. Díaz. Playing your pain away: Designing a virtual reality physical therapy for children with upper limb motor impairment. *JMIR Serious Games*, 2023.
- [12] Paul Milgram and Fumio Kishino. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, E77-D(12):1321–1329, 1994.
- [13] D. S. Park, H. Lee, and K. Kim. Effects of immersive virtual reality on upper-extremity stroke rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Neurology*, 2023.
- [14] N. Pimenta, R. Melo, and L. P. Reis. Evaluation of meta quest 2 for immersive virtual reality applications. *Virtual Reality*, 26(4):895–911, 2022.
- [15] A. Rodriguez et al. Designing accessible virtual rehabilitation environments. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 15(2):145–153, 2020.
- [16] L. Sardi et al. The role of gamification in health and wellness apps: review. *JMIR mHealth and uHealth*, 5(6):e94, 2017.
- [17] William R. Sherman and Alan B. Craig. *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. Morgan Kaufmann, 2002.
- [18] Mel Slater and Martin Usoh. Presence in immersive virtual environments. In *Proceedings of the 5th Annual Presence Workshop*, pages 27–56, 1994.
- [19] Jonathan Steuer. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4):73–93, 1992.
- [20] L. Zimmerli et al. Virtual reality based therapy for rehabilitation of motor function. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1):1–15, 2012.