

Jornadas de Automática

Integración de videojuegos comerciales mediante emulación de gamepad utilizando un robot de rehabilitación de muñeca

Tomás de la Cal Esteban^a, Ana Císnal^{a,*}, Javier Pérez-Turiel^a, Juan Carlos Fraile^a

^aInstituto de las Tecnologías Avanzadas de la Producción, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Valladolid, Paseo Prado de la Magdalena 3-5, 47011, Valladolid, España.

To cite this article: de la Cal Esteban, T., Císnal, A., Pérez-Turiel, J., Fraile, J.c.. 2026. Commercial Video Game Integration Through Gamepad Emulation Using a Wrist Rehabilitation Robot. Jornadas de Automática, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13687>

Resumen

La baja adherencia a programas de rehabilitación motora continúa siendo una limitación importante en terapias prolongadas. En este contexto, los *serious games* han demostrado mejorar la motivación, aunque su desarrollo implica elevados costes y limitada escalabilidad. Como alternativa, los videojuegos comerciales ofrecen entornos accesibles y motivadores, pero la mayoría de las soluciones existentes se basan en sistemas de captura de movimiento sin capacidades de asistencia mecánica. En este trabajo se propone un enfoque de rehabilitación basado en la emulación de un *gamepad* utilizando el robot de muñeca M3Rob. Los movimientos articulares del usuario se transforman en comandos compatibles con videojuegos, mientras que el control por admitancia genera un comportamiento mecánicamente transparente. La validación preliminar con sujetos sanos demuestra la viabilidad técnica del sistema, mostrando una interacción estable, movimientos intuitivos y altos niveles de motivación percibida. Esta aproximación podría facilitar la integración de plataformas robóticas de rehabilitación con videojuegos comerciales, reduciendo costes de desarrollo y ampliando las posibilidades terapéuticas.

Palabras clave: Tecnologías de asistencia e ingeniería de rehabilitación, Mecatrónica humano-robot, Mecatrónica biomédica, Sistemas de control de movimiento, Sistemas de control embebidos y aplicaciones, Automatización y diseño centrados en el ser humano, Ingeniería de rehabilitación y prestación sanitaria

Commercial Video Game Integration Through Gamepad Emulation Using a Wrist Rehabilitation Robot

Abstract

Low adherence to motor rehabilitation programs remains a major limitation in long-term therapy processes. In this context, *serious games* have demonstrated their ability to improve user motivation, although their development involves high costs and limited scalability. As an alternative, commercial video games provide accessible and engaging environments, but most existing solutions rely on motion-capture systems without mechanical assistance capabilities. In this work, a rehabilitation approach based on the emulation of a *gamepad* using the M3Rob wrist rehabilitation robot is proposed. User wrist movements are transformed into commands compatible with commercial video games, while an admittance control framework provides mechanically transparent behavior. A preliminary validation with healthy participants demonstrates the technical feasibility of the proposed system, showing stable interaction, intuitive movements, and high levels of perceived motivation. This approach could facilitate the integration of robotic rehabilitation platforms with commercial video games, reducing development costs and expanding the therapeutic possibilities of such systems.

Keywords: Assistive technology and rehabilitation engineering, Human and Robot Mechatronics, Biomedical Mechatronics, Motion Control Systems, Embedded computer control systems and applications, Human-centered automation and design, Rehabilitation engineering and healthcare delivery

*Autor para correspondencia: ana.cisnal@uva.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. Introducción

La rehabilitación neuromotora requiere procesos terapéuticos intensivos, repetitivos y prolongados en el tiempo con el fin de inducir los mecanismos de neuroplasticidad necesarios para la recuperación funcional. Sin embargo, la naturaleza repetitiva de estos ejercicios suele provocar una disminución progresiva de la adherencia al tratamiento, así como sensaciones de aburrimiento, fatiga y pérdida de motivación por parte del paciente (Ambros-Antemate et al., 2021, 2023).

Para abordar esta problemática, los entornos interactivos y los *serious games* han emergido como herramientas prometedoras para incrementar la implicación del usuario durante la terapia, transformando ejercicios tradicionalmente monótonos en experiencias más dinámicas y motivadoras (Amorim et al., 2020). No obstante, el desarrollo de videojuegos específicos para rehabilitación presenta limitaciones importantes. En muchos casos, estos entornos requieren un elevado esfuerzo de diseño, programación y mantenimiento, lo que incrementa significativamente los costes de desarrollo. Asimismo, la variedad de contenidos disponibles suele ser reducida, pudiendo generar pérdida de interés tras un uso prolongado.

Por otro lado, los videojuegos comerciales ofrecen entornos altamente optimizados desde el punto de vista de la experiencia de usuario, con una amplia variedad de dinámicas, niveles de dificultad y estilos de interacción. Asimismo, cuentan con elevados niveles de accesibilidad, actualización y aceptación social. Sin embargo, la integración directa de dispositivos robóticos de rehabilitación con videojuegos comerciales continúa siendo limitada debido principalmente a la ausencia de compatibilidad nativa entre ambos sistemas.

En este trabajo se propone una solución basada en la emulación de un dispositivo de entrada tipo *gamepad* utilizando un robot de rehabilitación de muñeca. Esta aproximación permite reutilizar videojuegos comerciales sin necesidad de desarrollo específico, manteniendo al mismo tiempo las capacidades de monitorización y control propias del sistema robótico.

Las principales contribuciones de este trabajo son: (i) El desarrollo de un sistema de emulación de *gamepad* basado en un robot de rehabilitación de muñeca; (ii) La definición de un mapeo cinemático entre los movimientos articulares de la muñeca y los comandos de control de un mando virtual; (iii) La validación experimental preliminar de la viabilidad y controlabilidad del sistema en videojuegos comerciales.

2. Sistema propuesto

2.1. Plataforma robótica

El sistema se basa en un robot de rehabilitación de muñeca M3Rob (Alonso-Linaje et al., 2024) de tres grados de libertad (GdL) activos diseñado para asistir los movimientos de pronación/supinación (P/S), flexión/extensión (F/E) y desviación radial/cubital (R/U). El dispositivo presenta una arquitectura serial tipo RRR, en la que los ejes de rotación están alineados con el centro anatómico de la muñeca para favorecer movimientos naturales y minimizar desalineamientos cinemáticos durante la interacción humano-robot. Además, incorpora un GdL prismático pasivo que permite ajustar la posición del antebrazo para adaptarse a diferentes usuarios.

El robot emplea motores brushless con reductoras y encoders integrados, junto con un sistema de transmisión por correas y engranajes para reducir la inercia en los ejes móviles y mejorar la ergonomía del dispositivo. Asimismo, el robot incorpora un sensor de fuerza/par de 6 ejes situado bajo el mango, permitiendo medir en tiempo real la interacción entre usuario y robot.

Debido a la utilización de reductoras y transmisiones mecánicas, el sistema presenta una reducida retroaccionabilidad (*backdrivability*), impidiendo que el usuario pueda mover libremente el robot. Por este motivo, se incorpora un esquema de control por admitancia mecánica que permite generar un comportamiento mecánicamente flexible (*compliant*) y facilitar la interacción física humano-robot.

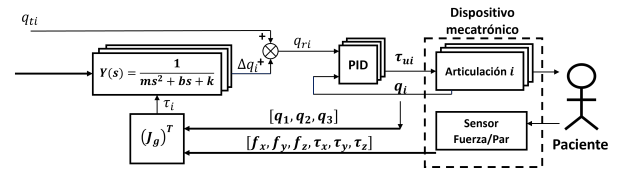


Figura 1: Control de admitancia en lazo cerrado.

La admitancia mecánica se modela mediante un sistema de segundo orden masa-muelle-amortiguador, definido por $Y(s) = 1/(ms^2 + bs + k)$, donde m la representa la masa virtual, b el coeficiente de amortiguamiento y k la constante elástica. Estos parámetros m , b y k determinan el grado de *compliance* percibido durante la interacción (Patarinski and Bottev, 1993). En este trabajo se utilizaron los valores $k = 0,001$, $m = 0,0005$ y $b = 0,0071$, seleccionados experimentalmente para proporcionar una interacción estable, y suficientemente suave y transparente para el usuario.

El control utiliza un lazo externo de admitancia encargado de calcular las referencias articulares a partir de las fuerzas y pares medidos por el sensor fuerza/par situado en el mango. Para ello, las fuerzas (f_x , f_y , f_z) y pares (τ_x , τ_y , τ_z) aplicados por el usuario se transforman en pares articulares (τ_i) mediante la transpuesta de la matriz Jacobiana del sistema (J_g^T), utilizando para ello la posición articular actual del robot q_i . Posteriormente, el modelo de admitancia calcula los incrementos articulares para cada articulación Δq_i , que se suman a la trayectoria objetivo q_{ri} , obteniendo así las referencias articulares finales q_{ri} . El lazo interno implementa un controlador PID encargado del seguimiento de las referencias articulares q_{ri} generadas por el bloque de admitancia. Con el objetivo de evitar fenómenos de saturación e integración acumulativa del término integral, el controlador incorpora además una estrategia *anti-windup*. Asimismo, el sistema dispone limitaciones software sobre velocidad y rango articular para garantizar una interacción estable y segura.

El control en tiempo real del sistema se ejecuta sobre un microcontrolador TMS320F28069M (Texas Instruments), encargado de implementar los algoritmos de control de bajo nivel, gestionar los motores y encoders del robot, así como adquirir las señales procedentes del sensor fuerza/par. Adicionalmente, el microcontrolador se comunica con un ordenador externo encargado de ejecutar tareas de control de más alto nivel, como la definición de los parámetros de admitancia mecánica o la generación de las señales equivalentes al mando vir-

tual tipo *gamepad*. Estas señales son posteriormente enviadas al sistema operativo enmascarándolas como comandos provenientes de un dispositivo HID (Human Interface Device) físico, mediante un controlador de modo kernel del sistema operativo Windows llamado *ViGEm Bus*. Este está pensado para la emulación de varios mandos tipo *gamepad*, permitiendo la interacción directa con videojuegos comerciales.

2.2. Emulación de gamepad

Las posiciones articulares reales del robot q_i , obtenidas mediante los encoders integrados en cada articulación, se utilizan para generar señales equivalentes a los ejes de un mando convencional. De este modo, los movimientos de la muñeca realizados por el usuario se transforman en comandos de control compatibles con videojuegos comerciales.

Los diferentes GdL de la muñeca se asignan a distintos ejes del mando virtual (Figura 2). En concreto, el movimiento de P/S se asigna al eje horizontal del joystick izquierdo, el de F/E al eje horizontal del joystick derecho y la desviación R/U al eje vertical del joystick izquierdo.

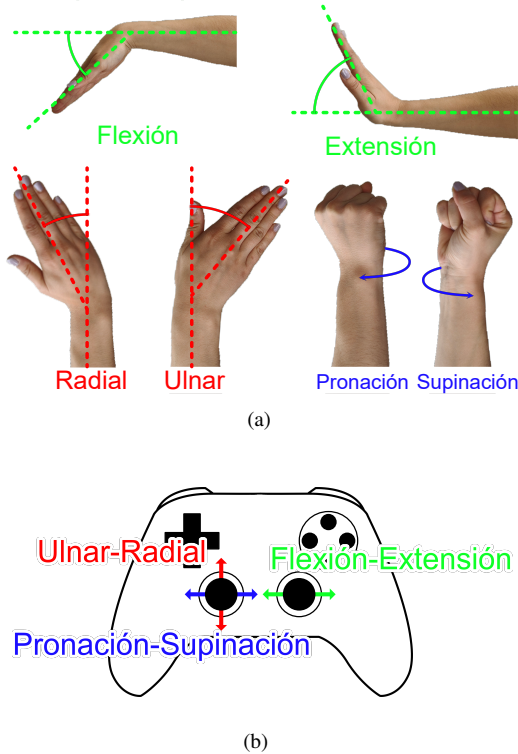


Figura 2: (a) Movimientos asistidos por el robot de rehabilitación M3Rob: pronación/supinación (P/S), flexión/extension (F/E) y desviación radial/cubital (R/U). (b) Correspondencia entre los GdL del robot de rehabilitación de muñeca y los ejes de un mando comercial tipo *gamepad*.

Las señales generadas se normalizan en el rango $[-1, 1]$, permitiendo su compatibilidad con la interfaz proporcionada por *ViGEm Bus* para dispositivos HID compatibles con la API *DirectInput*. De este modo, el sistema puede integrarse directamente con videojuegos comerciales sin necesidad de modificaciones adicionales ni desarrollo específico de software.

2.3. Juegos comerciales

Para la experimentación se seleccionaron dos videojuegos comerciales: *Doom* y *SuperTuxKart*. *Doom* es un juego clásico

de disparos en primera persona, desarrollado en 1993 por id Software para MS-DOS. Fue revolucionario por su capacidad de representar entornos en tres dimensiones, sus texturas y su iluminación, de una forma extremadamente optimizada, permitiendo al juego funcionar en los procesadores i386 de la época. Es un juego pionero en la informática gráfica que, dado que su código liberó en 1997, se utiliza mucho como ejemplo en artículos de investigación (Fieldhouse, 2026). Por otra parte, *SuperTuxKart* es un juego de carreras que empezó su desarrollo en 2006 y que continúa activo en la actualidad, consolidándose como uno de los proyectos *open source* más longevos dentro de su categoría.

La selección de ambos juegos se realizó con el objetivo de evaluar diferentes tipos de interacción motora. Mientras que *DOOM* requiere movimientos rápidos y continuos asociados principalmente al control de orientación y navegación en primera persona, *SuperTuxKart* incorpora tareas de control direccional más sostenidas y coordinadas, asociadas al guiado lateral del vehículo. Además, la naturaleza *open source* de ambos videojuegos facilita la reproducibilidad experimental y la posible adaptación futura de los entornos de prueba.

2.4. Protocolo experimental

Con el objetivo de evaluar la viabilidad del sistema propuesto, se realizó una validación preliminar con 6 sujetos jóvenes sanos (4 hombres y 2 mujeres), con una edad media de $22,33 \pm 3,14$, sin alteraciones motoras conocidas y con experiencia variable en el uso de videojuegos.

Los participantes realizaron dos tareas basadas en el *DOOM* y *SuperTuxKart* (Figura 3). En *DOOM*, la tarea consistió en completar el primer nivel del juego ("E1M1"), mientras que en *SuperTuxKart* los participantes debían completar una vuelta de uno de los circuitos disponibles. Cada participante completó las tareas utilizando dos modalidades de interacción: un mando convencional de Xbox y el sistema propuesto basado en el robot de rehabilitación de muñeca.



Figura 3: Participante interactuando con el videojuego *SuperTuxKart* mediante el robot de rehabilitación de muñeca M3Rob.

En *DOOM*, los ejes del joystick virtual izquierdo se emplearon para controlar el movimiento del avatar (avance, retroceso y desplazamiento lateral), mientras que el eje horizontal del joystick virtual derecho se utilizó para controlar la orientación de la cámara. En *SuperTuxKart*, el control lateral del

vehículo se realizó mediante el eje horizontal del joystick virtual derecho. Durante las tareas, se registraron y almacenaron para su posterior análisis las señales de control generadas por el sistema y enviadas al videojuego, correspondientes a los ejes horizontal y vertical de los joysticks izquierdo y derecho.

Tras finalizar las tareas, los participantes completaron un breve cuestionario subjetivo basado en una escala Likert de 5 puntos (1: totalmente en desacuerdo; 5: totalmente de acuerdo). El cuestionario evaluó los siguientes aspectos:

1. “Encontré el sistema fácil de utilizar.”
2. “Los movimientos del sistema me resultaron intuitivos.”
3. “Me he sentido fatigado al realizar las tareas.”
4. “Me he sentido motivado para realizar las tareas.”

El objetivo de esta evaluación preliminar fue analizar la usabilidad percibida, la intuitividad de la interfaz y el potencial motivacional del sistema propuesto.

2.5. Análisis de las señales de control

El análisis se realizó a partir de las señales de control generadas para los ejes del joystick virtual durante la interacción con los videojuegos. Con el objetivo de centrar el análisis en las variables más relevantes desde el punto de vista funcional, únicamente se consideraron los ejes principales asociados a cada tarea. En *DOOM*, se analizaron las señales correspondientes al movimiento horizontal (*avatar x-direction*) y longitudinal del avatar (*avatar y-direction*), y a la rotación horizontal de la cámara (*camera x-direction*). En *SuperTuxKart*, se analizó únicamente la señal correspondiente al control lateral del vehículo (*kart-direction*).

El rango efectivo de movimiento se cuantificó mediante el intervalo comprendido entre los percentiles 95 y 5 (ROM P95–P5), con el objetivo de obtener una estimación robusta del espacio de control utilizado y reducir la influencia de valores extremos aislados. Asimismo, se representaron estimaciones de densidad kernel (KDE) y mapas de ocupación para analizar la distribución y exploración espacial de las señales de control generadas por cada interfaz.

Adicionalmente, se calculó el porcentaje de tiempo en la *dead-zone*, definida como la proporción de muestras en las que los ejes principales del joystick virtual permanecían dentro del intervalo $[-0,1,0,1]$. La frecuencia de cambios de dirección (*zero-crossings*) se estimó mediante el número de cambios de signo en cada señal de control. Para evitar contabilizar pequeñas oscilaciones alrededor de la posición neutra, las muestras pertenecientes a la *dead-zone* fueron excluidas.

El comportamiento dinámico de las señales de control se evaluó mediante el cálculo del valor RMS (*root mean square*) de la velocidad. La velocidad instantánea se obtuvo como la derivada temporal de la señal de control (dx/dt). Todos los análisis y procesamiento de señales fueron realizados en Python 3.

3. Resultados

3.1. Validación del sistema

Las curvas KDE y los mapas de ocupación evidenciaron patrones de uso claramente diferenciados entre ambos interfaces de interacción. Las curvas KDE de los principales ejes de

control (Figura 4) mostraron que el mando Xbox concentraba gran parte de las muestras alrededor de la posición neutra y en los extremos del joystick, generando distribuciones con una mayor amplitud del espacio de control. Por el contrario, M3Rob presentó distribuciones más repartidas en regiones intermedias del rango de movimiento, indicando una interacción más progresiva y continua.

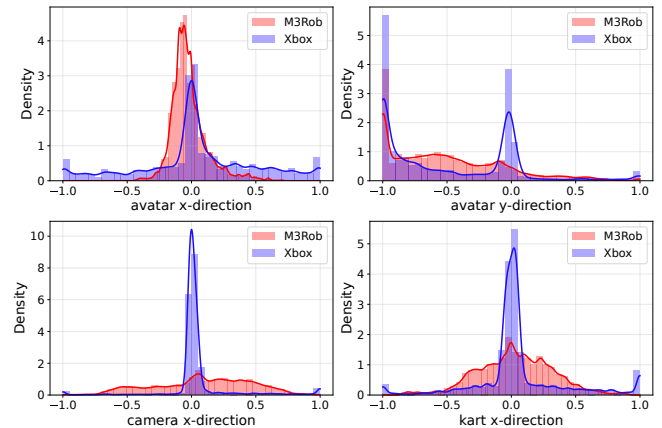


Figura 4: Curvas de densidad (KDE) del espacio de control utilizado por M3Rob y el mando Xbox para los principales ejes del joystick virtual de cada juego (Doom y Superkart) agrupando todos los participantes.

Estas diferencias también fueron visibles en los mapas de ocupación del espacio de control (Figura 5). Xbox presentó una elevada concentración de muestras en torno a la región neutra, mientras que M3Rob mostró una ocupación más distribuida y homogénea, con transiciones más graduales. Además, en el eje *avatar x-direction* de *Doom*, M3Rob no alcanzó valores extremos, manteniendo la interacción principalmente en regiones intermedias.

El análisis cuantitativo de las métricas de interacción confirmó estos patrones (Tabla 1). En términos de rango efectivo de movimiento (ROM P95–P5), Xbox presentó generalmente valores superiores, especialmente en los ejes principales de navegación y dirección, reflejando un uso más frecuente de posiciones extremas. De forma consistente, Xbox mostró mayores porcentajes de permanencia en la zona neutra tanto en *Doom* ($21,52 \pm 11,21\%$) como en *SuperTuxKart* ($63,83 \pm 3,22\%$), mientras que M3Rob presentó valores considerablemente menores ($1,32 \pm 1,38\%$ y $28,56 \pm 1,17\%$, respectivamente).

Las métricas dinámicas mostraron igualmente diferencias entre ambas modalidades. Xbox presentó mayores valores de velocidad RMS y una mayor frecuencia de cambios de dirección en la mayoría de los ejes analizados, reflejando un patrón de interacción más abrupto y basado en transiciones rápidas entre posiciones extremas. Por el contrario, M3Rob mostró velocidades más reducidas y cambios de dirección menos frecuentes, consistentes con una interacción más progresiva y sostenida a lo largo del espacio de control.

Tabla 1: Comparación de métricas de interacción de los ejes principales entre M3Rob y el mando Xbox para ambos videojuegos. Se muestran el rango efectivo de movimiento calculado mediante el intervalo entre los percentiles 95 y 5 (ROM P95–P5), la velocidad RMS y la frecuencia de cambios de dirección. Los resultados se expresan como media $\pm$ desviación estándar.

Videojuego	Eje	ROM P95–P5		Velocidad RMS		Cambios de dirección	
		M3Rob	Xbox	M3Rob	Xbox	M3Rob	Xbox
Doom	avatar x	0,40 $\pm$ 0,19	1,62 $\pm$ 0,28	1,08 $\pm$ 0,51	8,15 $\pm$ 1,92	6,50 $\pm$ 6,32	40,33 $\pm$ 20,92
	avatar y	1,33 $\pm$ 0,25	1,19 $\pm$ 0,46	3,36 $\pm$ 0,52	6,03 $\pm$ 2,29	8,67 $\pm$ 4,55	11,17 $\pm$ 10,83
	camera x	1,21 $\pm$ 0,20	0,65 $\pm$ 0,31	2,96 $\pm$ 1,05	8,60 $\pm$ 2,90	20,67 $\pm$ 9,20	13,33 $\pm$ 2,34
SuperTuxKart	kart x	0,94 $\pm$ 0,10	1,31 $\pm$ 0,27	2,14 $\pm$ 0,56	7,29 $\pm$ 1,98	41,17 $\pm$ 4,02	53,5 $\pm$ 13,28

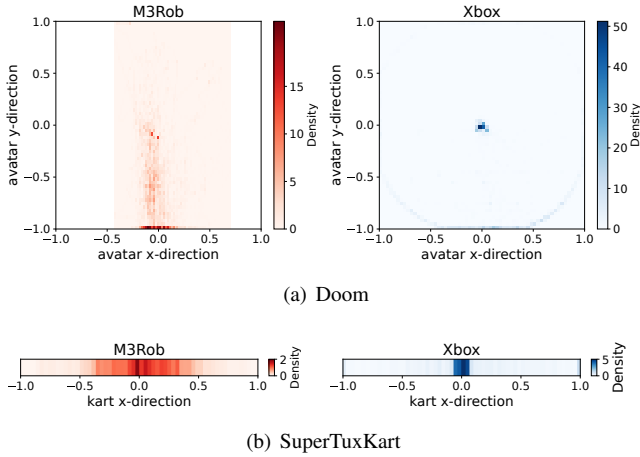


Figura 5: Mapas de ocupación del espacio de control para Xbox y M3Rob. La intensidad de color representa la densidad de uso del joystick virtual durante la interacción con: (a) *Doom* y (b) *SuperTuxKart*.

3.2. Evaluación subjetiva

Los resultados del cuestionario (Figura 6) mostraron puntuaciones elevadas en intuitividad de los movimientos del sistema ($4,5 \pm 0,5$) y motivación durante las tareas realizadas ($4,8 \pm 0,4$). La facilidad de uso obtuvo puntuaciones moderadamente altas ($3,7 \pm 0,5$), mientras que la fatiga percibida presentó valores relativamente bajos ($2,2 \pm 1,2$).

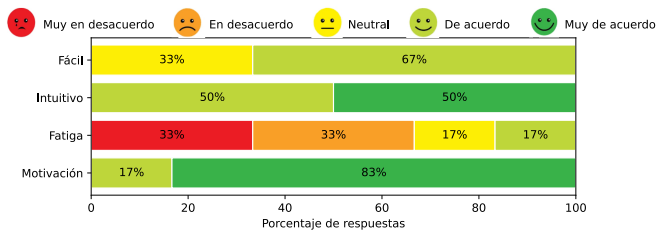


Figura 6: Distribución de respuestas del cuestionario subjetivo de usabilidad incluyendo facilidad de uso, intuitividad de los movimientos, fatiga percibida y motivación durante la interacción con el sistema robótico.

4. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad de utilizar un robot de rehabilitación de muñeca como dispositivo de entrada tipo *gamepad* para la interacción con videojuegos comerciales. Esta aproximación permite transformar una plataforma robótica originalmente concebida para rehabilitación en una interfaz compatible con un amplio rango de videojuegos

existentes, evitando la necesidad de desarrollar *serious games* específicos para cada aplicación terapéutica.

Las equivalencias propuestas entre movimientos articulares y ejes del joystick se seleccionaron imitando en gran medida a las que tendría un joystick de vuelo, por resultar las más intuitivas y naturales durante las pruebas preliminares realizadas con los usuarios. No obstante, la arquitectura desarrollada es flexible y permite modificar fácilmente dichas asignaciones, pudiendo adaptarse a diferentes videojuegos, objetivos terapéuticos o necesidades específicas de cada paciente. Esta capacidad de reconfiguración resulta especialmente interesante en rehabilitación, donde los requerimientos funcionales pueden variar considerablemente en función del grado de afectación motora o de la fase de recuperación.

El análisis de las señales de control mostró diferencias relevantes entre ambas modalidades de interacción. Los menores valores de velocidad RMS y frecuencia de cambios de dirección observados con M3Rob sugieren una interacción más suave, continua y menos reactiva que la realizada mediante el mando convencional. Del mismo modo, las diferencias observadas en el rango efectivo de movimiento y en la ocupación del espacio de control indican que ambas interfaces favorecen estrategias motoras distintas durante la interacción con los videojuegos. Mientras que el mando Xbox tendió a presentar movimientos rápidos y frecuentes recentrados sobre la posición neutra, M3Rob mostró patrones más sostenidos y concentrados en determinadas regiones del espacio de control. Estas diferencias probablemente estén relacionadas con las restricciones biomecánicas inherentes al movimiento de muñeca, así como con las características mecánicas y ergonómicas de la plataforma robótica. No obstante, los resultados obtenidos demuestran que el sistema es capaz de generar comandos de control suficientemente estables y continuos para permitir la interacción funcional con videojuegos comerciales.

Los resultados del cuestionario subjetivo sugieren una buena aceptación inicial de la interfaz propuesta por parte de los usuarios. Las elevadas puntuaciones obtenidas en intuitividad y motivación indican que los participantes fueron capaces de asociar de forma relativamente natural los movimientos de muñeca con el control del videojuego, incluso utilizando una interfaz distinta a los mandos convencionales. Asimismo, los bajos niveles de fatiga percibida sugieren que la interacción mediante M3Rob no generó una carga física excesiva durante las pruebas preliminares, aspecto especialmente relevante en aplicaciones de rehabilitación prolongadas. Aunque la facilidad de uso obtuvo puntuaciones ligeramente inferiores al resto de dimensiones evaluadas, los resultados indican que los usuarios pudieron adaptarse al sistema tras un breve periodo de familiarización. En conjunto, estos resultados apoyan el po-

tencial del sistema como herramienta motivacional para entornos de rehabilitación basados en videojuegos comerciales.

Numerosos trabajos previos han demostrado el potencial de los videojuegos comerciales en rehabilitación motora, reportando mejoras funcionales, aumento de la motivación y una elevada aceptación por parte de los pacientes (Unibas-Markaida and Iraurgi, 2022; Bonnechère et al., 2016). Sin embargo, la mayoría de las soluciones descritas en la literatura se basan principalmente en tecnologías de captura de movimiento de bajo coste, basadas en visión, como Microsoft Kinect, Leap Motion o PlayStation Eye; en sensorización inercial, como IMUs o el mando de Nintendo Wii; o en sistemas vestibles (*wearables*), como guantes de datos (Unibas-Markaida and Iraurgi, 2022; Pietrzak et al., 2014; Parry et al., 2012; Bax et al., 2014). Aunque estas tecnologías permiten registrar el movimiento, no proporcionan asistencia mecánica, por lo que su utilidad suele limitarse a fases avanzadas de la rehabilitación, cuando el paciente posee suficiente capacidad motora.

En este contexto, la integración de videojuegos comerciales con plataformas robóticas de rehabilitación representa una línea todavía poco explorada y potencialmente prometedora. Este enfoque permitiría combinar las ventajas motivacionales, la variedad de contenidos y la accesibilidad de los videojuegos comerciales con las capacidades de asistencia, monitorización y adaptación propias de los sistemas robóticos.

La principal aportación de este trabajo es precisamente la integración de videojuegos comerciales con una plataforma robótica de rehabilitación mediante la emulación de un mando tipo *gamepad*. A diferencia de los sistemas basados exclusivamente en captura de movimiento, el sistema permite registrar de forma precisa la cinemática y las fuerzas de interacción, además de incorporar una arquitectura basada en control por admitancia capaz de proporcionar una interacción física parametrizable.

Aunque la implementación actual funciona de forma esencialmente transparente para el usuario, esta arquitectura podría permitir en el futuro introducir asistencia mecánica, resistencia controlada o limitaciones adaptativas del rango de movimiento según las necesidades terapéuticas. Sin embargo, implementar estrategias asistivas personalizadas en videojuegos comerciales resulta complejo debido a la naturaleza cerrada de estos entornos, donde el sistema no dispone de acceso directo a la posición objetivo requerido por el juego en cada instante.

Aun así, la arquitectura propuesta abre la puerta a futuras estrategias de entrenamiento asistivo o resistivo integradas sobre plataformas robóticas ya existentes. Finalmente, este trabajo constituye una validación preliminar centrada en la viabilidad técnica del sistema, siendo necesarias futuras evaluaciones clínicas para analizar su impacto funcional y terapéutico en pacientes.

5. Conclusiones

Este trabajo presenta una arquitectura basada en la emulación de un mando tipo *gamepad* mediante un robot de rehabilitación de muñeca, permitiendo la interacción con videojuegos comerciales sin necesidad de desarrollar *serious games*

específicos. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad técnica del sistema y muestran que la plataforma es capaz de generar una interacción estable, intuitiva y motivadora para el usuario. Además, frente a soluciones basadas únicamente en captura de movimiento, la arquitectura propuesta incorpora capacidades de interacción física parametrizable mediante control por admitancia, abriendo la puerta a futuras estrategias de asistencia o entrenamiento resistivo integradas sobre plataformas robóticas de rehabilitación. No obstante, serán necesarios futuros estudios clínicos para evaluar su impacto funcional en contextos terapéuticos reales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España a través del proyecto PID2022-138206OB-C33.

Referencias

- Alonso-Linaje, G., Cignal, A., Fraile, J. C., Turiel, J. P., 2024. Design and analysis of the m3rob: A robotic platform for wrist and hand rehabilitation. *IEEE Access* 12, 30472–30481.
DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3369908
- Ambros-Antemate, J. F., Beristain-Colorado, M. D. P., Vargas-Treviño, M., Gutiérrez-Gutiérrez, J., Hernández-Cruz, P. A., Gallegos-Velasco, I. B., Moreno-Rodríguez, A., Nov 2021. Software engineering frameworks used for serious games development in physical rehabilitation: Systematic review. *JMIR Serious Games* 9 (4), e25831.
DOI: 10.2196/25831
- Ambros-Antemate, J. F., Beristain-Colorado, M. d. P., Vargas-Treviño, M., Gutiérrez-Gutiérrez, J., Hernández-Cruz, P. A., Gallegos-Velasco, I. B., Moreno-Rodríguez, A., Nov 2023. Improving adherence to physical therapy in the development of serious games: Conceptual framework design study. *JMIR Form Res* 7, e39838.
DOI: 10.2196/39838
- Amorim, P., Santos, B., Dias, P., Silva, S., Martins, H., 2020. Serious games for stroke telerehabilitation of upper limb - a review for future research. *Int J Telerehabil* 12 (2), 65–76.
DOI: 10.5195/ijt.2020.6326
- Bax, J. J., Delgado, V., Bapat, V., Baumgartner, H., Collet, J. P., Erbel, R., Hamm, C., Kappetein, A. P., Leipsic, J., Leon, M. B., McCarthy, P., Piazza, N., Pibarot, P., Roberts, W. C., Rodés-Cabau, J., Serruys, P. W., Thomas, M., Vahanian, A., Webb, J., Zamorano, J. L., Windecker, S., 10 2014. Open issues in transcatheter aortic valve implantation. part 1: Patient selection and treatment strategy for transcatheter aortic valve implantation. *DOI: 10.1093/eurheartj/ehu256*
- Bonnechère, B., Jansen, B., Omelina, L., Jan, S. V. S., 2016. The use of commercial video games in rehabilitation: A systematic review. *DOI: 10.1097/MRR.0000000000000190*
- Fieldhouse, R., Mar. 2026. How the classic computer game doom became a tool for science. *Nature* 651 (8107), 866.
DOI: 10.1038/d41586-026-00813-4
- Parry, I. S., Bagley, A., Kawada, J., Sen, S., Greenhalgh, D. G., Palmieri, T. L., 2012. Commercially available interactive video games in burn rehabilitation: therapeutic potential. *Burns* 38 (4), 493–500.
DOI: 10.1016/j.burns.2012.02.010
- Patarinski, S. P., Botev, R. G., 1993. Robot force control: A review. *Mechatronics* 3 (4), 377–398.
DOI: 10.1016/0957-4158(93)90012-Q
- Pietrzak, E., Cotea, C., Pullman, S., 1 2014. Using commercial video games for upper limb stroke rehabilitation: Is this the way of the future? *Topics in Stroke Rehabilitation* 21, 152–162.
DOI: 10.1310/tsr2102-152
- Unibas-Markaida, I., Iraurgi, I., 2022. Commercial videogames in stroke rehabilitation: systematic review and meta-analysis.
DOI: 10.1080/10749357.2021.1943798