

# Software para rehabilitación motriz basado en juegos<sup>1</sup>

## Game-based motor rehabilitation software

A. N. Caicedo, O. A. Vivas, J. Londoño

Recibido: marzo 18 de 2022 – Aceptado: junio 25 de 2023

**Resumen**—El siguiente artículo presenta un software basado en características de la gamificación para el mejoramiento de los procesos de rehabilitación motriz fina, considerando como punto clave la motivación de los pacientes. Partiendo de cinco patrones de movimiento de la mano, se desarrolló un software que permite la interacción entre el paciente y dos tipos de escenarios, uno basado en movimientos repetitivos y otro basado en videojuegos. Como interfaz natural para captar los movimientos de la mano del usuario se utiliza el dispositivo Leap Motion, mientras el software fue construido utilizando el motor de videojuegos Unity 3D. La herramienta fue probada con 32 usuarios y 1 paciente, obteniéndose resultados interesantes en cuanto al uso de interfaces naturales y el proceso de rehabilitación mediante juegos.

**Palabras clave**—Diseño centrado en el usuario, gamificación, rehabilitación de miembro superior, videojuegos.

**Abstract**—The following article presents software based on gamification features for the improvement of fine motor rehabilitation processes, considering patient motivation as a key point. Based on five hand movement patterns, software was developed that allows interaction between the patient and two types of scenarios, one based on repetitive movements and the other based on video games. The Leap Motion device is used as a natural interface to capture the user's hand movements, while the software was built using the Unity 3D video game engine. The tool was tested with 32 users and 1 patient, obtaining interesting

results regarding the use of natural interfaces and the rehabilitation process through games.

**Keywords**—Gamification, upper limb rehabilitation, user-centered design, video games.

### I. INTRODUCCIÓN

LA capacidad de movimiento es uno de los factores fundamentales para los seres humanos en cuanto a la interacción con su entorno. Acciones básicas como comer, caminar, saltar, van directamente ligadas a su desarrollo personal y social. Sin embargo, en algunas ocasiones las personas pierden total o parcialmente la capacidad de movimiento en sus extremidades. Independientemente de la causa se provocan grandes traumatismos en el estilo de vida de los individuos, y aunque existe cierto nivel de adaptación, se puede hablar en general de una desmejora en la calidad de vida.

La medicina ha intentado darle solución a esta problemática, con soluciones que involucran tratamientos integrales de terapias físicas, psicológicas, de medicación, entre otras [1].

Específicamente se encuentra el caso de las personas con secuelas de ECV (Enfermedad Cerebro Vascular), donde la pérdida de movilidad en la extremidad superior afecta a más del 50% de los sobrevivientes, disminuyendo notoriamente su desempeño general [2] [3] [4]. Al ser una de las causas más comunes de discapacidad a nivel mundial, las ECV no solo implican trastornos en el movimiento de las extremidades sino también problemas de lenguaje, alteraciones perceptivas y sensoriales [5] [6] [7]. El tratamiento para los pacientes con secuelas de ECV, refiriéndose a la parte motriz, busca mejorar las capacidades funcionales del paciente, mediante terapias basadas en actividades repetitivas guiadas por el especialista. Está comprobado que parte del éxito de estos tratamientos depende del estado mental de la persona, su disposición y actitud para recuperarse, el apoyo de su entorno social o familiar y por supuesto aspectos relacionados con su edad, tipo de ECV, tiempo de evolución de ECV, condiciones físicas, calidad de tratamiento, condiciones económicas, relación con el especialista, entre otras [8] [9] [10].

Ambientes para la rehabilitación motriz soportados en

<sup>1</sup>Producto derivado del proyecto de investigación “Sistema de rehabilitación de motricidad fina basado en juegos y en movimientos repetitivos, un caso de estudio”, apoyado por la Universidad del Cauca a través de la Maestría en Automática.

A. N. Caicedo, Sena Antioquia, Medellín, Colombia, email: natalie290490@gmail.com.

O. A. Vivas, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, email: avivas2@unicauca.edu.co .

J. Londoño, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia, email: jlondono@unicauca.edu.co .

**Como citar este artículo:** Caicedo, A. N., Vivas, O. A., y Londoño, J. Software para rehabilitación motriz basado en juegos, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 17, no. 33, pp. 39-46, enero-junio 2023. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.31908/19098367.2769>.



plataformas tecnológicas se han creado para apoyar y potenciar los resultados de las terapias convencionales [11] [12]. Una de las ventajas de estos sistemas es que permiten un mayor control por parte del especialista del estado del paciente, porque los resultados y avances son mucho más mensurables que en una terapia convencional. Muchos de estos sistemas se enfocan además de la parte física, en la parte mental, donde encontramos en la motivación uno de los pilares en cualquier tratamiento de rehabilitación exitoso. Las terapias convencionales en muchas ocasiones se convierten en sesiones aburridas o dolorosas para los pacientes, siendo esto en muchas ocasiones la causa que el índice de deserción de estas terapias sea alto. Es entonces cuando los exoesqueletos, guantes, extremidades robotizadas, ambientes virtuales, interfaces atractivas y los videojuegos, se convierten en plataformas tecnológicas creadas para solventar estos problemas a partir de la motivación [13] [14] [15] [16].

En [17] por ejemplo, desarrollaron una de las primeras herramientas interactivas para medir los movimientos captados por un Kinect y evaluarlos cuantitativamente. En [18] se ayudan de la realidad virtual con el fin de crear ambientes virtuales de simulación para entrenar a personas en la manipulación de componentes de un aerogenerador. En [19] desarrollaron un sistema con realidad virtual para contribuir en terapias de rehabilitación de miembro superior para pacientes con ictus.

Cuando se hace uso de las características adictivas y atractivas que tienen los juegos, con el fin de generar compromiso en otros contextos de la vida, aparece el concepto de la gamificación [20]. En [21] aparece la plantilla de gamificación de procesos utilizada en el presente estudio, mientras que en [22] se presentan procesos gamificados con sus heurísticas y criterios de jugabilidad.

Para garantizar aún más la pertinencia de este tipo de software, enfocado en usuarios específicos, se emplean abstracciones del diseño enfocado al usuario (DCU), la cual es una metodología de desarrollo software que permite que el cliente o la persona que directamente va interactuar con el software se involucre en su diseño y construcción [23].

Para resumir, las terapias integrales de rehabilitación están compuestas de una parte que busca la restitución física del paciente a partir de movimientos repetitivos, y de alguna plataforma como las antes mencionadas. Existen estudios comparativos entre una terapia convencional y una apoyada en algún sistema software o hardware, lo cual permite establecer una relación entre el desempeño del paciente y su estado motivacional, como es el caso del uso de videojuegos y los ambientes virtuales [24] [25].

Por todo lo anterior, el presente artículo muestra el diseño y construcción de un sistema para rehabilitación de motricidad fina, enfocado en movimientos repetitivos, con dos tipos de ambientes creados en un motor de videojuegos: uno sin mayor atracción visual y otro con características propias de los videojuegos, utilizando para ello la interfaz natural Leap Motion.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Interfaces naturales

Las interfaces naturales NIU (interfaces naturales de usuario), son aquellas interfaces que permiten la interacción de usuarios con sistemas mediante movimientos gestuales o comandos de voz. Entre algunos ejemplos de este tipo, se encuentran dispositivos como Kinect de Microsoft, Myo de Thalmic Lab's y Leap Motion. Este último fue el utilizado en esta investigación ya que permite leer con relativa precisión los movimientos gestuales de la mano, muñeca y cada uno de sus dedos (ver Fig. 1).

Para su funcionamiento, el Leap Motion se vale de diminutas microcámaras de captura de movimiento que posteriormente, transmiten la información al computador. Cuando las manos se encuentran dentro de la zona de cobertura, se produce una reflexión de luz que llega al dispositivo e incide sobre los lentes de las cámaras, las cuales recogen los datos y los almacenan para crear la imagen digitalizada. Posteriormente se analizan las imágenes para identificar las manos y los dedos mediante un modelo matemático de caracterización anatómica, obteniéndose además la profundidad [26] [27].

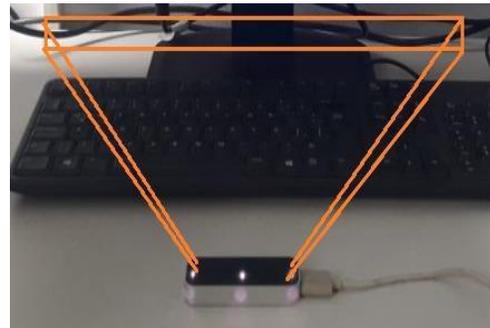


Fig. 1. Leap Motion Controller.

Entre los trabajos más destacados realizados con este dispositivo se encuentran: En [28] se analiza su utilidad para ejercicios de rehabilitación física de manos y dedos, y se identifican las ventajas y desventajas de su uso en estos procesos. En [29] se creó un tablero de juegos, tipo rompecabezas, controlado por Leap Motion, para apoyar a pacientes que sufren de Parkinson. En este mismo sentido, en [30] desarrollaron un sistema con Leap Motion, que consiste en ambientes virtuales para terapias de mano que puedan ser realizadas en casa por parte de los pacientes. En [31] presentan un juego en un ambiente virtual para rehabilitación de mano controlado con Leap Motion, con características propias de la gamificación, con el fin de ayudar a desarrollar el tono muscular y la precisión de gestos. En [32] se exploraron los efectos de un sistema de realidad virtual basado en Leap Motion, para rehabilitación de los dedos, en ambientes con y sin iluminación. Sin embargo, aún no se puede concluir que el uso de este dispositivo sea un factor determinante a la hora de obtener un mejor progreso en los pacientes. Esta investigación pretende contribuir a dar una solución a esta problemática.

### B. Patrones de movimiento

Con ayuda del Departamento de Fisioterapia de la Universidad del Cauca se definieron una serie de patrones de movimiento de mano para ser implementados en el software. Estos patrones fueron identificados y seleccionados por ser los más comúnmente utilizados en una terapia convencional, los cuales se enfocan en movimientos básicos y cotidianos. Dichos patrones son, con un ejemplo de su respectiva tarea cotidiana: Palmar (escribir una carta); Cilíndrico (tomar un vaso de agua); esférico (tomar una pelota y trasladarla); extensión activa del índice (jugar con canicas); pinza (rellenar figuras con semillas o papel picado).

Con los patrones de movimiento seleccionados se diseñó el software.

### C. Software de motricidad fina

La plataforma de rehabilitación basada en los patrones anteriormente seleccionados consta de 2 partes: La aplicación No. 1 basada en movimientos repetitivos, y la aplicación No. 2 enfocada en los mismos movimientos, pero en un ambiente con características asociadas a los videojuegos y a la gamificación.

La construcción del software se realizó en el motor de videojuegos Unity 3D, programando en el lenguaje C#, mientras que para almacenar la información de los usuarios y su desempeño en las terapias se utilizó una base de datos local en Sqlite.

Para la construcción de los escenarios de la plataforma se consideraron aspectos de diseño y desarrollo de software para usuarios específicos o con características particulares, utilizando el diseño enfocado en el usuario (DCU). En general, se toma de [23] las siguientes 3 premisas para este trabajo:

- Ingeniería del software: Es el formato “clásico” de ciclo de vida en cascada iterativo o evolutivo correspondiente.
- Prototipo: Se establece como metodología que engloba técnicas que permitirán la posterior fase de evaluación.
- Evaluación: Engloba y categoriza los métodos y evaluaciones a realizar, es decir, las encuestas y evaluaciones finales.

#### 1) Aplicación No. 1, movimientos repetitivos en un ambiente simple.

Esta parte de la plataforma se compone de una serie de escenarios en los cuales el paciente completa una acción relacionada con cada uno de los patrones de movimiento de mano, de 4 a 6 veces según lo establecido por el especialista. En los diversos escenarios el usuario interactúa con varios objetos, cilindros, bolas, canicas, palos y monedas, los cuales activan diferentes patrones de movimiento. Un ejemplo de esto se muestra en la Fig. 2, donde el paciente debe depositar todos los objetos en un balde, siendo dichos movimientos detectados con ayuda del Leap Motion.

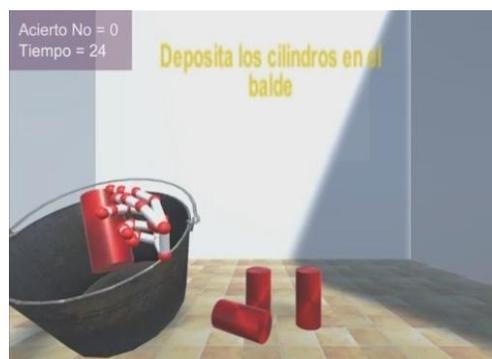


Fig. 2. Ejemplo de ambiente de la aplicación No. 1.

Las instrucciones a seguir se muestran en pantalla, además de un contador de tiempos y de aciertos. El usuario tomará los objetos realizando el agarre respectivo y guiándose por la representación virtual de su mano, los debe colocar en el balde. El funcionamiento del resto de escenarios de la aplicación No. 1 es similar, variando únicamente la escena y el objeto a manipular.

#### 2) Aplicación No. 2, movimientos repetitivos en un ambiente con características de videojuego.

Esta parte de la plataforma involucra los mismos patrones de movimiento definidos, pero ahora ellos hacen parte de un videojuego sencillo que involucra características de gamificación y jugabilidad. La parte gráfica de los escenarios es más atractiva que la primera parte del software, como resultado de la aplicación de una plantilla de gamificación al proceso de rehabilitación.

El videojuego creado se llama “Movimiento al Rescate”. Es un videojuego diseñado puntualmente para soportar la rehabilitación motriz fina de pacientes con secuelas de ECV. Consta de 5 minijuegos, con una historia y misión de fondo, uno por cada patrón de movimiento que se quiere desarrollar.

La historia se desarrolla en las regiones geográficas de Colombia (Amazonía, Orinoquía, Pacífica, Andina, Caribe), como se observa en la Fig. 3. Cada región representa un nivel del videojuego. La misión del jugador es liberar a diversos animales en vía de extinción en cada uno de los niveles, con ayuda de una acompañante virtual, el cual le proporcionará pistas para conseguir sus objetivos.

A través de movimientos de mano utilizando el dispositivo Leap Motion, el jugador agarra y mueve objetos correctamente hasta cierto punto del escenario, con el propósito de liberar de la jaula al animal atrapado, perteneciente a cada escena (Fig. 4). Se suma un punto cada vez que el jugador ejecute un movimiento correctamente, puntos que son almacenados con el fin de evaluar el desempeño del paciente en cada sesión.

Los personajes del juego son el rescatista animal quien es el jugador (protagonista de la historia), un Loro Orejiamarillo (acompañante virtual), y los animales a ser rescatados en cada nivel (delfín rosado, jaguar, cóndor, rana dorada y tortuga Carey). Cada nivel tiene una escena y objeto a manipular distinto. Por ejemplo, en el nivel 1 perteneciente a la región amazónica, el animal a liberar es el delfín rosado y el objeto a manipular es un cilindro (agarre cilíndrico), como se observa

en la Fig. 4.



Fig. 3. Mapa de niveles videojuego “Movimiento al Rescate”.



Fig. 4. Ambiente de aplicación No. 2, región amazónica.

III.RESULTADOS

A. Descripción del experimento

El experimento realizado contó con la participación de 36 sujetos (entre expertos, voluntarios sin patología y un paciente caso de estudio). Con 32 de ellos (los voluntarios sin patología) se establece un precedente de comparación con el sujeto protagonista del caso de estudio.

Los resultados de este estudio tienen dos interpretaciones puntuales: En primer lugar, se evalúan criterios que permiten determinar si el software cumple con los requerimientos de usabilidad. En segundo lugar, se hace una evaluación de los valores captados por el software cuando los usuarios interactúan con él. El experimento se divide en 3 fases cada una de las cuales aplica su propio protocolo:

- Fase 1: Pruebas con sujetos sin patología.
- Fase 2: Pruebas con el paciente caso de estudio.
- Fase 3: Prueba con expertos (heurísticas).

Para cada parte de las pruebas se maneja un protocolo distinto.

B. Experimento con sujetos sin patología

Para las pruebas piloto con sujetos sanos, se realizó una sesión única donde las personas realizan un test convencional utilizado en terapias de rehabilitación física conocido como Nine Hole Peg Test (9-HPT). Los sujetos utilizaron ambas aplicaciones del software, luego se tomaron sus resultados e impresiones con el fin de establecer un parámetro de comparación. En este experimento participaron 32 sujetos de profesiones diversas, entre los 18 y los 68 años de edad. Se

buscó la creación de grupos sectorarios diversos según rango de edades y equilibrando el número de hombres y de mujeres participantes. Sin embargo, el género de las personas no fue un factor diferenciador según los resultados del presente estudio (Tabla I).

TABLA I  
RANGO DE EDADES DE LOS PARTICIPANTES

Rango de edad	Número de participantes	Mujeres	Hombres
18 a 28 años	6	3	3
29 a 38 años	8	4	4
39 a 48 años	6	4	2
49 a 58 años	7	4	3
59 a 68 años	5	4	1

A los participantes inicialmente se le da la información necesaria con respecto al proyecto, se les informa sobre la duración de la prueba (media hora aproximadamente), así como la necesidad de firmar un consentimiento informado para el uso de la información. Las pruebas se realizaron en la Universidad del Cauca, en Popayán, Colombia.

Cabe mencionar que la mitad de los participantes interactuaron primero con la aplicación No. 1 y la otra mitad comenzó la sesión con la aplicación No. 2. La Fig. 5 muestra a dos de los participantes durante la prueba.



Fig. 5. Participantes durante la prueba de la herramienta.

La encuesta inicial se realiza con la intención de conocer qué tan familiarizados están los individuos con los conceptos fundamentales del proyecto. Los resultados más relevantes de esta primera encuesta son:

El 81% de los participantes usa computadoras con regularidad, y el 66% lo hace con los videojuegos, El 78% no sabía qué era una interfaz natural mientras que la totalidad de los usuarios consideran que los videojuegos son potenciales herramientas para el aprendizaje. En cuanto al test 9-HPT, permitió cuantificar el tiempo tomado por los usuarios para realizar cierta rutina, utilizando la mano dominante y la no dominante. Los resultados promedio se presentan en la Tabla II.

TABLA II  
RESULTADOS 9-HPT

9-HPT	Mano dominante (segundos)	Mano no dominante (segundos)
Promedio	23	25
Mediana	23	24
Moda	24	22
Varianza	11	14

Después de la fase de exploración del software, este se configura con la cantidad de objetos a manipular en las dos aplicaciones, para posteriormente iniciar con las pruebas. La Tabla III muestra las tareas, la cantidad de objetos a mover y el patrón relacionado para cada aplicación.

TABLA III  
CANTIDAD DE OBJETOS POR EXPERIMENTO

Aplicación No. 1					
Patrón	Agarre cilíndrico	Agarre esférico	Extensión índice	Agarre de pinza	Agarre palmar
Escena	1	2	3	4	5
Tarea	Mover cilindros	Mover esferas	Tirar canicas	Mover cubos pequeños	Mover palos delgados
Número objetos a mover	4	4	6	4	4
Aplicación No. 2					
Escena	Amazonas	Orinoquía	Andina	Pacífica	Caribe
Tarea	Mover cilindros	Mover esferas	Tirar canicas	Mover frutas pequeñas	Poner lápiz en un vaso
Número objetos a mover	4	4	6	4	4

Los resultados del test 9-HPT y los tomados con los movimientos de los usuarios, permiten establecer un punto de referencia para la comparación de resultados de una persona sana y uno con patología de ECV, que es el caso de estudio. Es de notar que solo se pudo comparar el sistema con un paciente real, dada la dificultad de encontrar una persona con la disponibilidad y el ánimo de colaborar en este estudio. Los resultados más relevantes una vez finalizadas las pruebas son:

- Solo 6 usuarios cumplieron completamente todas las tareas asociadas a las aplicaciones.
- La mayoría de los participantes (28) no estaban familiarizados con el uso de una interfaz natural, razón por la cual tenían dificultad en completar todas las tareas al momento de explorar el software.
- El patrón de movimiento percibido como más sencillo en ambas aplicaciones, fue la extensión activa del índice. El 90% de los participantes completaron las escenas relacionadas con este patrón en un promedio de 18 segundos.
- La mayoría de participantes manifestó su frustración en la escena 4 de la aplicación No. 2 (agarre de pinza ambientada en la región pacífica), fue la escena con menor índice de aciertos por segundo.
- Solamente el 30% de los participantes logró completar el nivel 5 de la aplicación No. 2 (agarre palmar ambientado en la región Caribe). Este nivel del juego también tiene un bajo índice de aciertos por segundo.
- Analizando tiempos de ejecución de tareas en todas las escenas se observa que estos tiempos aumentan si la edad de las personas participantes aumenta. O lo que es lo mismo, las personas jóvenes tienen mejor desempeño al utilizar la herramienta.
- Los participantes manifestaron que la aplicación No. 1 era más sencilla de manejar. Además, los 16 usuarios que

empezaron el experimento con la aplicación No. 1 tuvieron una mejor disposición y comprensión para enfrentar luego con la aplicación No. 2.

Igualmente se puede decir que la evaluación del software en cuanto a criterios visuales, gráficos y de comprensión de tareas es positiva. Vale la pena mencionar, que para 13 personas el manejo de software fue difícil por el uso del Leap Motion como interfaz. El mismo número de participantes se sintió frustrado, 8 personas no sintieron motivación alguna por continuar jugando y 4 de ellos coincidieron en sentir aburrimiento en determinado punto de la prueba.

La segunda parte de la encuesta tuvo como resultados relevantes los siguientes:

- La escena favorita de los participantes con un 22% fue la escena 3 de la aplicación No. 1 (extensión activa del índice, lanzar canicas hacia un objetivo). De igual forma, esta escena fue elegida por el 31% de la población como la más fácil de completar.
- Con un 44%, la escena catalogada como la más difícil fue la escena 5 de la aplicación No. 2 (agarre palmar, nivel final y por lo tanto más complejo del videojuego “Movimiento al Rescate”).
- Para el 84% la aplicación favorita fue la No. 2 (aplicación con el Leap Motion), y el 16 % restante se sintió más a gusto con la aplicación No. 1 (movimientos repetitivos). Casualmente ese 16% eran personas con rangos de edades superiores.
- Cerca del 90% de los participantes percibieron que los ambientes de la aplicación No. 2 eran notoriamente más atractivos, manifestando además empatía con la historia y los personajes de fondo.
- 26 personas encontraron atractiva la historia del juego, el resto manifestaron que no percibieron el impacto significativo en la historia de fondo.
- A pesar de que la mecánica de interacción era la misma, a 21 personas les pareció que el manejo de la aplicación No. 1 era más sencillo que la aplicación No. 2.

### C. Experimento con el caso de estudio

El participante del caso de estudio es una persona de sexo masculino, de 48 años de edad, que hace poco más de 3 años sufrió un accidente cerebro vascular por problemas de presión arterial, con una limitación severa en la funcionalidad de sus dedos. El participante ha estado en constante tratamiento, en especial para recuperar la movilidad de su extremidad superior dominante. Se realizaron 14 sesiones con el paciente, 2 por semana, en las cuales tuvo contacto con ambas aplicaciones del software. El protocolo a seguir con el caso de estudio es similar al de los 32 participantes voluntarios, con la diferencia que son más sesiones de interacción con el software y que el 9-HPT se repite después de finalizar las 14 sesiones, con el fin de comprobar el avance en su proceso de rehabilitación.

Sin embargo, el paciente no pudo realizar la prueba inicial y final con el 9-HPT con su extremidad afectada por la ECV, debido a que la funcionalidad de los dedos de la mano está muy comprometida. Estos resultados se registran en la Tabla

IV.

TABLA IV  
RESULTADOS 9-HPT INICIAL Y FINAL CASO DE ESTUDIO

9-HPT	Mano dominante (segundos)	Mano no dominante (segundos)
Sesión inicial	Sin registro	32
Sesión final	Sin registro	27

El paciente se sintió más atraído por la aplicación No. 2 pero manifestó sentirse más cómodo utilizando la aplicación No. 1, afirmando que le parecía más sencilla de usar. Los agarres de pinza y palmar fueron los que mayor dificultad le causaron al paciente, eso se traduce en que fueron los ambientes de menos disfrute y donde se sintió frustrado independiente si trabajaba con la aplicación No. 1 o la No. 2. Esto coincide con los resultados que mostraron los 32 sujetos de la primera parte del experimento. De otra parte, a pesar de que la parte gráfica de la aplicación No. 2 puede percibirse con agrado, le genera más estrés y frustración al paciente; la historia, los mensajes, y las características aportadas por la gamificación del sistema de rehabilitación distraen al paciente al cumplir con sus tareas.

Al igual que el experimento con los 32 sujetos voluntarios, el uso del Leap Motion fue agotador para el paciente, aunque la ambientación del juego fue su parte favorita.

Con los resultados de desempeño del paciente y tomando como precedente los resultados de los 32 sujetos voluntarios se tiene como conclusiones de este experimento:

- Para la extremidad no dominante, el paciente se encuentra dentro de los rangos de desempeño establecidos para la aplicación No. 1 (Fig. 6) y para la aplicación No. 2 (Fig. 7).

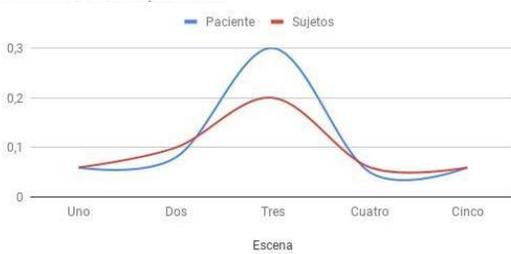


Fig. 6. Desempeño extremidad no dominante, aplicación No. 1.

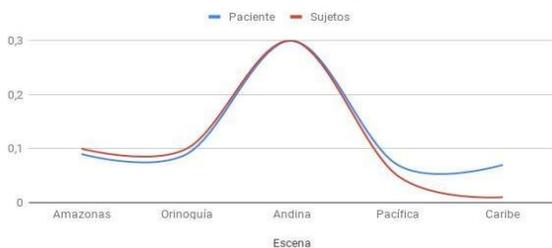


Fig. 7. Desempeño extremidad no dominante, aplicación No. 2.

- Para la extremidad dominante el paciente se encuentra por debajo de los rangos de desempeño establecidos para la aplicación No. 1 (Fig. 8) y para la aplicación No. 2 (Fig. 9), debido a los motivos anteriormente expuestos.

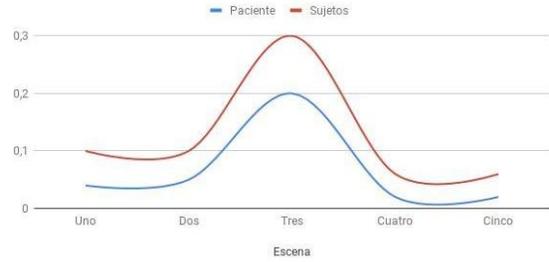


Fig. 8. Desempeño extremidad dominante, aplicación No. 1.

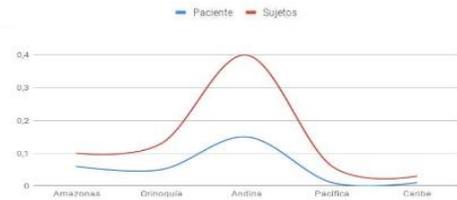


Fig. 9. Desempeño extremidad dominante, aplicación No. 2.

TABLA V  
RESULTADOS HEURÍSTICAS CON EXPERTOS

Heurística	Promedio expertos	Descripción de la heurística
1	4.30	Visibilidad del estado del sistema
2	4.25	Relación entre el sistema y el mundo real
3	5.00	Control y libertad de usuario
4	4.40	Consistencia
5	5.00	Uso de estándares
6	3.50	Prevención de errores
7	4.50	Minimizar la carga de memoria del usuario
8	4.00	Flexibilidad y eficiencia de uso
9	4.00	Diseño estético y minimalista
10	3.00	Ayuda al usuario para reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores
11	4.10	Ayuda y documentación
12	4.40	Desarrollo del juego
13	4.00	Desafío, estrategia y ritmo
14	4.00	Objetivos del juego
15	1.00	Variedad de estilos del juego
16	3.50	Entretenimiento / humor / inmersión emocional
17	4.50	Usabilidad y mecánicas del juego
18	3.00	Logros y recompensas

D. Experimento con expertos

Esta parte del estudio contó con la participación de 3 expertos. El primero de ellos experto en diseño y desarrollo de videojuegos, el segundo experto en usabilidad y diseño enfocado en el usuario, y finalmente una terapeuta ocupacional especialista en rehabilitación motriz. Se utilizaron

18 principios heurísticos, 11 propuestos por Nielsen [33] (usabilidad y diseño) y los 7 restantes relacionados con gamificación, jugabilidad y juegos serios obtenidos de [34]. La Tabla V muestra los resultados promedio al evaluar las heurísticas.

Al respecto se puede resumir:

- Las puntuaciones en las heurísticas 6 y 10 son bajas porque la prevención de errores hacia los usuarios no se consideró para la construcción del software.
- Entre las sugerencias de mejora que hicieron los expertos está la heurística 8, dado que no es claro el momento en que el jugador termina el juego.
- En la heurística 15 los expertos recomendaron aprovechar mucho más el recurso de la historia del videojuego.
- En la heurística 18 se recomendó aclarar las recompensas presentes en el juego.
- En general los expertos de la parte software recomendaron la búsqueda de alternativas para que la mecánica del juego fuera más variada (ejemplo: depositar objetos para ganar puntos en todas las escenas).
- La experta en rehabilitación sugirió buscar alternativas al uso del dispositivo Leap Motion, ya que en cierto punto genera incomodidad y cansancio en los usuarios.

#### IV. CONCLUSIONES

Este artículo presentó una plataforma software para rehabilitación motriz fina a partir de patrones de movimiento de mano comúnmente usados en terapias convencionales, y en cuya construcción se empleó un diseño enfocado al usuario además de características de gamificación y de jugabilidad. La interfaz natural Leap Motion fue utilizada para captar los movimientos de la mano del paciente / usuario. El motor de videojuegos Unity 3D fue utilizado para construir la herramienta. El propósito de la plataforma es poder aumentar los índices de motivación de los pacientes en sus tratamientos de rehabilitación.

Se construyeron dos aplicaciones donde el usuario podía realizar ejercicios de movimiento de sus manos y/o rehabilitación motriz. La aplicación No. 1 está basada en movimientos repetitivos con un ambiente gráfico agradable pero simple, y la aplicación No. 2 donde se realizan los mismos movimientos, pero dentro de un juego llamado "Movimiento al Rescate". Las dos aplicaciones permiten activar cinco agarres con la mano por parte del usuario.

Se contó con la colaboración de 32 usuarios y 1 paciente con el objetivo de validar la herramienta. Los resultados mostraron que a pesar de que las estadísticas favorecen a la aplicación No. 2 por ser visualmente más llamativa y estimulante, la mayoría de usuarios percibió que el uso de la aplicación No. 1 era más sencillo. Los participantes manifestaron además que la aplicación No. 1 era más clara en cuanto a la tarea a realizar, dada su sencillez, a diferencia de la aplicación No. 2 que, al ser más rica en elementos dentro de la escena, podía igualmente distraer más al usuario en su tarea. Otro aspecto que se destaca es la empatía de los participantes

con la aplicación No. 2, ya que motivaba el ayudar a los diferentes animales involucrados en el juego.

El uso del dispositivo Leap Motion en el estudio tuvo sus pros y sus contras. Es positivo el hecho de que el usuario pueda ver sus manos en la pantalla e interactuar con los objetos que se le presentan. Sin embargo, tiene algunos errores de precisión y puede generar cansancio su uso prolongado. Es de esperar que en el futuro próximo este tipo de tecnologías mejore, pudiéndose aprovechar de una mejor manera.

Como trabajo futuro, aparte de buscar otro tipo de interfaz natural más moderna, está la realización de las mejoras recomendadas por los expertos y así poder probar la nueva versión con mayor número de pacientes.

#### REFERENCIAS

- [1] Karamians, R., Proffitt, R., Kline, D., Gauthier, L. "Effectiveness of virtual reality and gaming-based interventions for upper extremity rehabilitation poststroke: A meta-analysis", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 101, no. 5, pp. 885-896, 2020.
- [2] Capó A., Gómez J., Moyà G., Perales F. "Motivational rehabilitation using serious games", *Virtual Archaeology Review*, vol. 4, pp. 167-173, 2013.
- [3] Kairy D., Veras M., Archambault P., Hernandez A., Higgins J., Levin M., Poissant L., Raz A., Kaizer F. "Maximizing post-stroke upper limb rehabilitation using a novel telerehabilitation interactive virtual reality system in the patient's home: study protocol of a randomized clinical trial", *Contemporary Clinical Trials*, vol. 47, pp. 49-53, 2016.
- [4] Hao, J., Xie, H., Harp, K., Chen, Z., Siu, K. "Effects of virtual reality intervention on neural plasticity in stroke rehabilitation: A systematic review", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 103, no. 3, pp. 523-541, 2022.
- [5] Mohr J. Stroke data Banks, *Stroke*, 17, 171-172, 1986.
- [6] Griffiths D., Sturm J. "Epidemiology and etiology of young stroke", *Stroke Research and Treatment*, 2011, 2011:209370.
- [7] Cano de la Cuerda R., Molero A., Carratalá M., Alguacil I., Molina F., Miangolarra J., Torricelli D. "Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. Aplicaciones clínicas en neurorehabilitación". *Neurología*, vol. 30, no. 1, pp. 32-41, 2015.
- [8] Lohse K., Hilderman C., Cheung K., Tatla S., Van der Loos H. "Virtual reality therapy for adults poststroke: a systematic review and meta-analysis exploring virtual environments and commercial games in therapy", *Plos One*, vol. 9, no.3, e93318, 2014.
- [9] Morales R., Badesa F., García N., Aranda J., Casals A. "Autoadaptive neurorehabilitation robotic system assessment with a post-stroke patient". *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 12, no. 1, pp. 92-98, 2015.
- [10] Whitehead, S., Baalbergen, E. "Post-stroke rehabilitation", *South African Medical Journal*, vol. 109, no. 2, 2019.
- [11] Ramírez, G., Téllez, B. "Epidemiología de la enfermedad vascular cerebral en México: Ausencia de registro de las secuelas cognitivas", *Revista Mexicana de Neurociencia*, vol. 17, no. 2, pp. 59-70, 2016.
- [12] Silva, M., Sandoval, D., Durán, J. "Caracterización de pacientes con enfermedad cerebrovascular isquémica aguda", *Repertorio de Medicina y Cirugía*, vol. 29, no. 3, 2020.
- [13] Nijenhuis S., Prange G., Amirabdollahian F., Sale P., Infarinato F., Nasr N., Mountain G., Hermens H., Stienen A, Buurke J., Johan R. "Feasibility study into self-administered training at home using an arm and hand device with motivational gaming environment in chronic stroke", *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, vol. 12, no. 89, 2015.
- [14] Kim D., Park J. "Virtual reality for stroke rehabilitation". *Cochrane Database Syst Rev*, vol. 11, 2017.
- [15] Arunkumar J., Hur P., Motawar B., Seo N. "Low-cost virtual reality game for upper limb rehabilitation using Kinect and p5 glove", *37th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics*, Omaha, Nebraska, United States, september 2013.
- [16] Colder, M., Van Rooij, A., Spruijt, D., Kvedar, J., Griffiths, M., Carabas, Y., Labrique, A. "Commercial video games as therapy: A new

research agenda to unlock the potential of a global pastime”, *Front. Psychiatry*, 2018.

- [17] Velarde M. P., Perugachi E., Romero D., Sappa A., Vintimilla B. “Análisis del movimiento de las extremidades superiores aplicado a la rehabilitación física de una persona usando técnicas de visión artificial”. *Revista Tecnológicas Espol* vol. 28, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [18] Hernández M., López M., Pimentel J., Toledo G. “Videojuego didáctico empleando el Kinect para la manipulación virtual de un aerogenerador”. *Pistas Educativas*, vol. 36, no. 112, pp. 483-503, 2018.
- [19] Guevara, B., Martínez, A., Gordón, A., Constante, P. “Sistema inmersivo de reconocimiento y control de gestos empleando realidad virtual para rehabilitación de las extremidades superiores en pacientes con daño cerebral adquirido (DCA)”. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. E19, pp. 658-670, 2019.
- [20] Sánchez, C. “Gamificación en la educación: Hacia una pedagogía para involucrar y motivar a los estudiantes”, Madrid, EAE, 2020.
- [21] Aparicio, A., Gutierrez, F., González, J., Isla, J. “Analysis and application of gamification”. *13th International Conference Interacción Persona-Ordenador*, Elche, España, octubre 2012.
- [22] Toh, W., Kirschner, D. “Self-directed learning in video games, affordances and pedagogical implications for teaching and learning”, *Computers & Education*, vol. 154, 2020.
- [23] Paraskevopoulos I., Tseklevs E., Craig C., Whyatt C., Cosmas J. “Design guidelines for developing customised serious games for Parkinson’s Disease rehabilitation using bespoke game sensors”, *Entertainment Computing*, vol. 5, no. 4, pp. 413-424, 2014.
- [24] Calderita L., Bustos P., Suárez C., Viciana R., Bandera A. “Asistente robótico socialmente interactivo para terapias de rehabilitación motriz con pacientes de pediatría”, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, vol. 12, no. 1, pp. 99–110, 2015.
- [25] Yoo C., Yong M., Chung J., Yang Y. Effect of computerized cognitive rehabilitation program on cognitive function and activities of living in stroke patients, *Journal of Physical Therapy Science*, 27, 2487–2489, 2015.
- [26] Fazeli, H., Venkatesh, S., Peng, Q. “A virtual environment for hand motion analysis”, *Procedia CIRP*, vol. 78, pp. 127-132, 2018.
- [27] Aguilera, A., Alguacil, I., Mallo, A., Cuesta, A. “Use of the Leap Motion Controller® System in the rehabilitation of the upper limb in stroke. A systematic review”, *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, vol. 31, no. 1, 2022.
- [28] Gamboa E., Serrato A., Toro D., Trujillo M. “Advantages and limitations of leap motion for developing physical rehabilitation exergames (PREGs). *5th Workshop on ICTs for improving Patients Rehabilitation Research Techniques*, Popayán, Colombia, septiembre 2019.
- [29] García, A., Goosses, M., Konrad, R., Stork, M., Becker, H., Göbel, S., Kalbe, E. “PDPuzzleTable: A Leap Motion exergame for dual-tasking rehabilitation in Parkinson’s Disease. Design and study protocol”. *International Conference on Entertainment Computing*, Arequipa, Perú, noviembre 2019.
- [30] Li J., Hsieh Y., Lin F., Chu C. “Hand gesture recognition for post-stroke rehabilitation using Leap Motion”. *International Conference on Applied System Innovation*, Sapporo, Japan, mayo 2017.
- [31] Alimanova M., Borambayeva S., Kozhamzharova D., Kurmangaiyeva N., Ospanova D., Tyulepberdinova G., Kassenkhan, A. “Gamification of hand rehabilitation process using virtual reality tools: Using Leap Motion for hand rehabilitation”. *First IEEE International Conference on Robotic Computing*, Taichung, Taiwan, abril 2017.
- [32] Aguilar, C., Rechy, E. “Performance analysis of Leap motion controller for finger rehabilitation using serious games in two lighting environments”, *Measurement*, vol. 157, 2020.
- [33] Nielsen J. “10 usability heuristics for user interface design”, Nielsen Norman Group, updated 2020.
- [34] Cronholm S. “The usability of usability guidelines: a proposal for meta-guidelines”, *21st Annual Conference of the Australian Computer-Human Interaction Special Interest Group: Design: Open 24/7*, Melbourne, Australia, november 2009.



**Ayxa Natalie Caicedo Rosero.** Ingeniera electrónica, Universidad del Cauca, Colombia, 2013; magíster en automática, Universidad del Cauca, Colombia, 2019. Servicio Nacional de Aprendizaje, Sena, seccional Antioquia. Áreas de interés: Juegos serios, educación virtual.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3049-4414>



**Oscar Andrés Vivas Albán.** Ingeniero electrónico, Universidad del Cauca, Colombia, 1989; magíster en automática, École Centrale de Nantes, Francia, 2001; doctor en robótica, Université de Montpellier, Francia, 2004. Profesor titular de la Universidad del Cauca. Áreas de interés: Robótica médica, robótica quirúrgica, control de robots.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5381-8234>



**Jerónimo Londoño Prieto.** Fisioterapeuta, Universidad Autónoma de Manizales, Colombia, 2001; especialista en neurorehabilitación, Universidad Autónoma de Manizales, Colombia, 2006; maestría en neurorehabilitación, Universidad Autónoma de Manizales, Colombia, 2012. Profesor titular Universidad del Cauca. Áreas de interés: Neurorehabilitación, neurociencia, robótica y realidad virtual.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6572-3715>