



Juego Serio para rehabilitación motora fina en niños: consideraciones de diseño y usabilidad

Serious game for fine motor rehabilitation in children: design and usability considerations

Saavedra-Parisaca, Edwin¹

Vidal-Duarte, Elizabeth^{1*}

¹Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú

Recibido: 29 May. 2022 | **Aceptado:** 10 Jul. 2022 | **Publicado:** 20 Jul. 2022

Autor de correspondencia*: evidald@unsa.edu.pe

Como citar este artículo: Saavedra-Parisaca, E. & Vidal-Duarte, E. (2022). Juego Serio para rehabilitación motora fina en niños: consideraciones de diseño y usabilidad. *Revista Científica de Sistemas e Informática*, 2(2), e405. <https://doi.org/10.51252/rcsi.v2i2.405>

RESUMEN

Los sistemas de rehabilitación basados en juegos serios se han desarrollado no solo para medir la precisión de los movimientos sino buscando motivar y lograr un mayor compromiso con los ejercicios realizados, más aún cuando los pacientes son niños. En este artículo se presenta el desarrollo un juego serio para la rehabilitación motora de niños entre 7 y 13 años. Para ello se hizo uso del dispositivo Leap Motion teniendo en cuenta los atributos de sistemas de rehabilitación virtual para terapias: aprendizaje observacional, práctica, motivación y retroalimentación; para probar la usabilidad del sistema se hizo uso del cuestionario especializado para sistemas de rehabilitación virtual para terapia Suitability Evaluation Questionary (SEQ). Los resultados mostraron la aceptación del sistema no sólo a nivel de funcionalidad sino de no presentar incomodidades en cuanto a mareos, náuseas, molestia en los ojos entre otras. El poder tener los resultados del SEQ ha permitido identificar mejoras en cuanto al diseño y consideraciones de usabilidad.

Palabras clave: miembros superiores; rehabilitación virtual; tracking óptico

ABSTRACT

Rehabilitation systems based on serious games have been developed not only to measure the precision of movements but also to motivate and achieve greater commitment to the exercises performed, even more so when the patients are children. This article presents the development of a serious game for the motor rehabilitation of children between 7 and 13 years old. For this, the Leap Motion device was used, taking into account the attributes of virtual rehabilitation systems for therapies: observational learning, practice, motivation and feedback; To test the usability of the system, the specialized questionnaire for virtual rehabilitation systems for therapy Suitability Evaluation Questionary (SEQ) was used. The results showed the acceptance of the system not only at the level of functionality but also of not presenting discomfort in terms of dizziness, nausea, eye discomfort, among others. Being able to have the results of the SEQ has made it possible to identify improvements in terms of design and usability considerations.

Keywords: superior members; virtual rehabilitation; optical tracking



1. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la rehabilitación física es ayudar a la persona a volver al desempeño funcional de las actividades de la vida diaria mediante la recuperación de las habilidades motoras perdidas. Para hacerlo, los médicos especialistas buscan promover el aprendizaje motor, definido como un conjunto de procesos internos asociados con la práctica o la experiencia que conducen a cambios relativamente permanentes en la capacidad de una habilidad motora (Schmidt & Lee, 2005; Schmidt & Lee, 2005). La forma en que se organizan las condiciones de práctica dentro de las sesiones de terapia implica variables de aprendizaje motor: por ejemplo; el tipo de tarea a practicar, el orden en que se practican y el tipo de retroalimentación proporcionada (Levac et al., 2011).

Los juegos serios se definen como “juegos que están diseñados para entretener a los jugadores mientras educan, entrenan o cambian su comportamiento” (Michael & Chen, 2005; Chen et al., 2016), o juegos con el propósito de mejorar el conocimiento, las habilidades o la actitud de un individuo en el mundo real (Thompson et al., 2010). Dentro de los juegos serios se ha identificado un tipo de juegos denominados exergames (Oh & Yang, 2010), los que tienen como característica principal proporcionar entornos que responden a las acciones del usuario, lo que facilita la práctica contextual repetitiva y la retroalimentación consistente con las condiciones del usuario, para la adquisición exitosa de habilidades motoras (Miller et al., 2014).

Los juegos serios involucran diferentes tecnologías como realidad virtual, sensores, tecnologías de telecomunicaciones, interfaces hombre/computadora. Uno de estos sensores es Leap Motion (Ultraleap, 2021), un dispositivo de tracking óptico diseñado para detectar, reconocer y capturar movimiento en las extremidades superiores a nivel fino (dedos) y grueso (brazo, muñeca y mano). Este dispositivo no necesita marcadores e incorpora sensores infrarrojos y cámaras para hacer todos los cálculos geométricos para el reconocimiento de la mano (Bachmann et al., 2018).

Existen experiencias previas con el uso de Leap Motion para terapias de rehabilitación física. Postolache et al. (2018) desarrollaron un juego en donde el paciente toma cubos de colores y los pone en una cesta, el juego es flexible en el sentido de identificar si se trabaja la mano derecha o izquierda, si es un varón o una mujer quien juega (para adecuar el estilo de la mano) el enfoque principal del artículo está en la validación de usabilidad. Cortés-Pérez et al. (2021) hacen uso de Leap Motion en la rehabilitación de deficiencias motoras en pacientes con enfermedades del sistema nervioso central. La investigación tomó el dispositivo en una terapia experimental basada en videojuegos y la comparó con la terapia tradicional a través de 5 ensayos controlados aleatorios. Su estudio mostró mejoras en la movilidad de las extremidades superiores y las tareas orientadas a la movilidad de las mismas.

De Oliveira et al. (2016) combinaron el uso del dispositivo Leap Motion con el sensor electroencefalográfico “MinWave” para crear un entorno virtual de juego terapéutico que fue muy bien valorado por 8 expertos clínicos en parálisis cerebral en un programa de terapia ocupacional del Núcleo de Asistencia Médica Integrada (NAMI) de la Universidad de Fortaleza, Brasil. El resultado del estudio mostró una herramienta alternativa prometedora para la rehabilitación de niños con parálisis cerebral.

Iosa et al. (2015) desarrollaron juegos de rehabilitación para pacientes de la tercera edad que tuvieron accidente cerebrovascular subagudo e hicieron un estudio piloto de viabilidad de los mismos y medir la eficacia de la intervención mediante la escala de Abilhand para evaluar la capacidad manual. Chen et al. (2016) desarrollaron un sistema que mide los temblores utilizando el dispositivo de tracking óptico Leap Motion, los autores analizaron las ventajas y desventajas de este dispositivo con respecto a los utilizados en la actualidad, encontrando que es útil debido a su tamaño y a que el paciente no necesita llevar acelerómetros u otros en las manos o dedos. Filho (2018) desarrollaron un controlador de interfaz de gestos de manos basado en aprendizaje automático para la comunicación en tiempo real entre el

dispositivo Leap Motion y los juegos. Los autores probaron seis de un total de diez gestos incorporados en un juego desarrollado en Unity. Vamsikrishna et al. (2016) propusieron un sistema de rehabilitación de muñeca y nivel fino basado en el reconocimiento de gestos utilizando Leap Motion y aprendizaje supervisado. La extracción de características utilizó la media de la velocidad de desplazamiento de la palma, la distancia y los ángulos entre las yemas de los dedos y la palma central. Informaron una precisión del 99,09% y del 98,76%.

De la revisión de la literatura podemos ver la aceptación del uso de Leap Motion, su probada exactitud para capturar determinados movimientos y su efectividad para terapias físicas.

Leap Motion es un dispositivo óptico sin marcadores orientado al control de movimiento gestual, detecta los movimientos que se realizan con las manos, los dedos e inclusive objetos que se encuentren alrededor de su campo de visión (Wozniak et al., 2016). Este dispositivo es pequeño comparado con otros del mercado teniendo como dimensiones: 75 mm de largo, 25 mm de ancho y 11 mm de alto. Su estructura consta de dos cámaras que contienen sensores monocromáticos sensibles a la luz infrarroja, las cuales tienen como función capturar todas las imágenes (Weichert et al., 2013).

Levac et al. (2011) y Schmidt & Lee (2005) presentan los atributos de la tecnología de realidad virtual para rehabilitación lo cuales alinean cuatro variables fundamentales del aprendizaje motor: aprendizaje observacional, práctica, motivación y retroalimentación aumentada. (a) El aprendizaje observacional se refieren a la posibilidad de que los usuarios puedan ver su imagen interactuando con objetos virtuales en el entorno virtual; (b) La práctica se refiere a la cantidad, la tarea, la especificidad y los alumnos participan en tareas significativas; (c) La motivación se refiere a la novedad de la tecnología de realidad virtual, funciones de juego, tareas orientadas a objetivos, entre otros y finalmente (d) la Retroalimentación aumentada se refiere al conocimiento auditivo, visual o táctil preciso y consistente del conocimiento del desempeño de la retroalimentación motivacional positiva

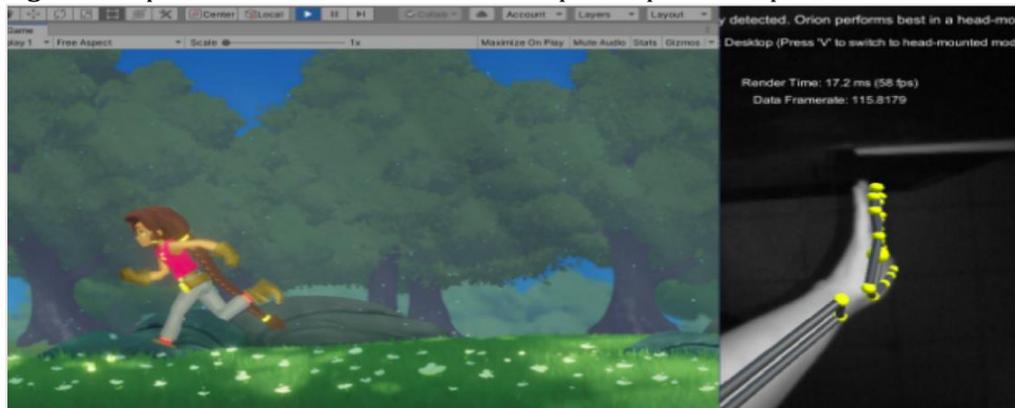
El objetivo del trabajo fue el desarrollo de un juego serio orientado a la rehabilitación en niños entre 6 y 12 años y realizar un análisis de la adecuación a los atributos de la tecnología de realidad virtual para rehabilitación, así como el estudio de usabilidad haciendo uso del cuestionario validado SEQ (Suitability Evaluation Questionary) Gil-Gómez & Manzano-Hernández (2013) que fue diseñado específicamente para sistemas de realidad virtual orientados a pacientes.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Sistema

Tomando como base el International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Blake & McLeod, 2018) nos enfocamos en los ejercicios referidos a la subclasificación d4453: "Girar o torcer las manos o los brazos: Usar los dedos, las manos y los brazos para girar o doblar un objeto, como se requiere para usar herramientas o utensilios" y a la subclasificación d4400: Recoger: "levantar o tomar un objeto pequeño con las manos y los dedos, como cuando se toma un lápiz". La elección de los ejercicios y la validación de los requisitos de funcionalidad fue realizada por dos médicos especialistas en terapia física y un médico neurólogo pediatra de la clínica San Juan de Dios de la ciudad de Arequipa. Los ejercicios de rehabilitación sugeridos fueron: extensión, flexión, supinación, pronación y agarre.

El sistema aborda un ambiente de rehabilitación a través de un juego 2D. Se centra en controlar la ejecución de los movimientos en extremidades superiores mediante el dispositivo Leap Motion que permite controlar el avatar del juego (Figura 1).

Figura 1. Captura del movimiento de la Mano Izquierda para el desplazamiento del avatar

El juego se diseñó teniendo en cuenta los atributos de la tecnología de realidad virtual para aprendizaje motor: aprendizaje observacional, práctica, motivación y retroalimentación aumentada (Levac et al., 2011; Schmidt & Lee, 2005). El objetivo del juego es movilizar a un avatar por un campo quien deberá evitar un determinado número de obstáculos a través de saltos hasta llegar a un destino. Por cada vez que evite un obstáculo recibirá puntos y/o premios dependiendo de la dificultad, y por cada vez que falle pierde un punto. El juego tiene 3 niveles de dificultad que se refieren a la proximidad de los obstáculos y el tiempo de reacción del paciente para saltar. La Figura 2 muestra el entorno del juego en ejecución.

Figura 2. Juego en ejecución muestra el control del tiempo para cumplir el objetivo evitando los obstáculos. Se maneja sistema de puntos y recompensas

Dado que en la sesión de rehabilitación motora se pueden entrenar muchos tipos pacientes el sistema se adapta a las diversas necesidades del paciente. El juego permite diferentes configuraciones según las características del paciente: sexo (masculino o femenino), edad (permite un avatar diferente). El juego permite configurar el tiempo para los ejercicios, la cantidad de obstáculos y el tipo de manos que se pueden utilizar (es decir, mano izquierda o derecha). Hemos implementado gestos que permiten movimientos de muñeca en extensión, flexión, supinación y pronación y la combinación de ellos para lograr el desplazamiento y los saltos.

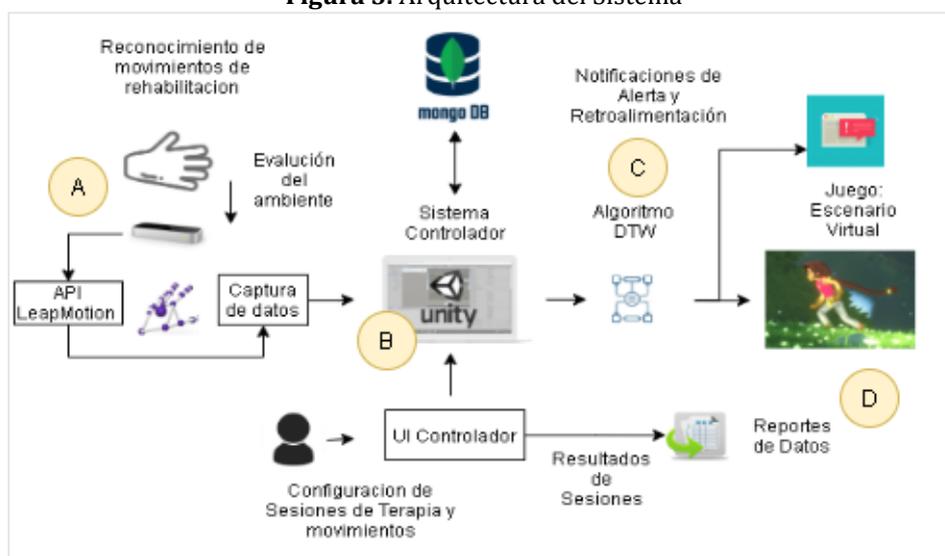
Arquitectura

Para el funcionamiento del sistema se propone una arquitectura basada en cuatro módulos tal y como se muestra en Figura 3. Las letras de A-H indican los pasos de ejecución. (A) El primer módulo tiene como propósito la "captura de datos", e integra el SDK del dispositivo Leap Motion para lograr la detección de los movimientos de rehabilitación. En este módulo también se consideró una sección de calibración, para aliviar temas de iluminación, latencia y rango de proximidad. (B) El segundo módulo es el "sistema

controlador" que recibe y almacena información conforme se establece en las configuraciones de las sesiones de rehabilitación o movimientos, también cuenta con un emisor de reportes de datos a la par de su respectiva conexión a base de datos (MongoDB).

Toda esta sección hace alusión a la parte administrativa del sistema, y solo es visible para el personal de salud o el investigador. (C) El tercer módulo es un "clasificador de movimientos", este módulo acompaña a las funciones de reconocimiento por rango y coordenadas que ya tiene la API de Leap Motion con el algoritmo Dynamic Time Warping (DTW) de reconocimiento de secuencias (Senin, 2008). Se evalúa el grado de similitud de los movimientos con otros previamente grabados, y se prepara al sistema para emitir reportes más precisos con respecto a los ángulos y rangos de movimiento de la muñeca y cada dedo de la mano. (D) El cuarto módulo "escenario virtual", ofrece un entorno de distracción a los pacientes, ofreciendo un juego interactivo el cual se prepara en base a las configuraciones implantadas por los médicos especialistas, considerando duración de la sesión, parámetros de control. También traduce la clasificación de movimientos a un sistema de puntuación propio del juego.

Figura 3. Arquitectura del Sistema



Prueba de Usabilidad

Usabilidad y aceptación son factores claves en los sistemas de rehabilitación virtual. La literatura ofrece muchos instrumentos para este propósito, pero no consideran aspectos importantes para los pacientes. Es por ello que para validar nuestra propuesta se ha hecho uso del SEQ (Suitability Evaluation Questionary) (Gil-Gómez & Manzano-Hernández, 2013) que fue diseñado específicamente para sistemas de realidad virtual orientados a pacientes. SEQ consta de 14 preguntas, las trece primeras son evaluadas de 1 a 5 en una escala de Likert y la última es abierta. Las primeras siete preguntas (Q1 a Q7) miden el disfrute, el sentido de estar en el sistema, sensación de éxito y control, realismo, facilidad de comprensión de las instrucciones y disconformidad general. Las siguientes cuatro preguntas evalúan asuntos asociados a los sistemas de realidad virtual: náuseas, problemas con la vista, desorientación y confusión y sentido de progreso en la rehabilitación. Las primeras once preguntas se evalúan con las etiquetas "Nada" hasta "Mucho".

Las últimas dos preguntas evalúan la dificultad. Q12 evalúa la perspectiva de la dificultad de la tarea y Q13 evalúa la dificultad observada con la dificultad física de la interfaz utilizada en el sistema. Estas preguntas se evalúan con etiquetas que van desde "Muy fácil" hasta "Muy difícil". La pregunta Q14 interroga al usuario sobre si se sintieron incómodos con el sistema y por qué.

En el estudio participaron 7 niños entre 7 y 13 años (seis mujeres y siete varones, con una edad media de $11 \pm 1,56$). Los criterios de inclusión son los siguientes: 1) sin déficit cognitivo; 2) sin trastornos motores; 3) con experiencia previa en Entornos Virtuales y 3) ningún conocimiento en gráficos por computadora o videojuegos de rehabilitación bidimensional. Se obtuvieron consentimientos informados y activos de los padres o tutores con la aceptación de participar en la investigación.

El estudio se realizó en el Centro de Investigación, Transferencia de Tecnología y Desarrollo de Software (CITESOFT) de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Los participantes realizaron una sesión de 25 minutos. Antes del inicio de las sesiones, el investigador explicó el conjunto de instrucciones básicas para realizar correctamente el juego. Después de la sesión, los participantes completaron el cuestionario SEQ para evaluar la satisfacción del usuario con el sistema.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Resultados del Cuestionario SEQ, n = 7

Pregunta	Media
Q1. Cuánto disfrutó su experiencia con el sistema	5
Q2. ¿Cuánto sintió estar en el ambiente del sistema?	3,83
Q3. ¿Qué tanto éxito tuvo en el sistema?	4,33
Q4. ¿Qué tanto pudo controlar el sistema?	4,33
Q5. ¿Qué tan real es el entorno virtual del sistema	4,33
Q6. ¿La información brindada por el sistema es clara?	3,5
Q7. ¿Sintió alguna incomodidad mientras utilizaba el sistema?	1,16
Q8. ¿Sintió mareos o náuseas mientras usaba el sistema?	1
Q9. ¿Sintió alguna incomodidad en los ojos mientras utilizaba el sistema?	1
Q10. ¿Se sintió confundido o desorientado mientras utilizaba el sistema?	1,33
Q11. ¿Cree que este sistema va a ser útil para su rehabilitación?	4,83
Q12. ¿Encontró las tareas difíciles de realizar?	1
Q13. ¿Encontró el dispositivo del sistema difícil de utilizar?	1

De los resultados obtenidos se puede observar que la propuesta tiene aceptación (Q1, Q3, Q4, Q5) pero es necesario trabajar en la interfaz en cuanto a información adicional (Q6). De acuerdo a las preguntas abiertas es necesario explicar mejor cuando se ganan los puntos y el rol de las recompensas y como se consiguen. La pregunta Q2 es aceptable en el sentido de que se trata de un juego en 2D y no permite la inmersión que daría un juego en 3D que probablemente arrojaría un puntaje mayor.

En cuanto a la adecuación (Q7-Q10) los resultados también son alentadoras. Las preguntas abiertas reflejaron una pequeña molestia por la posición del brazo para controlar el movimiento mientras más tiempo pasaba interactuando con el juego. Finalmente, las preguntas Q12 y Q13 han mostrado que el uso de Leap Motion no representa mayor dificultad para los usuarios y que las tareas a realizar son sencillas de ejecutar.

Hemos encontrado la aplicación del SEQ de mucha utilidad para validar la propuesta de juego en diferentes aspectos y obtener retroalimentación muy valiosa antes de probarlo con niños. Una acción a tomar sería considerar un soporte para apoyar el brazo para realizar los ejercicios.

En cuanto a las consideraciones de diseño descritas nuestra propuesta ha considerado las cuatro (aprendizaje mediante la observación, práctica, retroalimentación aumentada y motivación). En cuanto a la primera se hizo énfasis en el uso del avatar que refleje sus movimientos, pero al tratarse de un juego en 2D no se incluyó la propia imagen del usuario interactuando con los objetos en el entorno virtual. En esta primera versión del juego no se ha considerado tampoco al profesor virtual que enseñe la forma correcta de hacer el movimiento. Esto debido a que el juego está enfocado en lograr la funcionalidad más que en la precisión.

Con respecto al segundo punto el juego considera la repetición del movimiento el cual es configurado por el especialista médico según la necesidad del paciente (cantidad de saltos para llegar al objetivo). Los movimientos que hacen desplazarse saltar al avatar entrenan movimientos que son idénticos a los requeridos en tareas de la vida real (de acuerdo a la clasificación de la ICF). Así mismo es posible individualizar a diferentes niveles de desafío.

En cuanto a la retroalimentación esta está dada por los puntos que va ganando el avatar el cual va acompañado de un sonido (retroalimentación visual y auditiva). Finalmente, con respecto a la motivación esta está orientada a superar retos y el logro de objetivos. Si bien no existe la competición entre pacientes. La competencia es contra uno mismo al superar el propio puntaje y cada vez en menor tiempo.

En la literatura se presentan diversas experiencias orientadas a rehabilitación de motor fino que hacen uso de diversos dispositivos tanto a nivel de tracking inercial (guantes y sensores) (Friedman et al., 2014); (Nguyen et al., 2022; Zondervan et al., 2016) como de tracking óptico (uso de cámaras para seguimiento). La elección que se hizo fue Leap Motion por motivos de costo ya que es un dispositivo de bajo costo comparado con otros equipos y que presenta ya una validación en cuanto a su precisión. Así mismo es considerado un dispositivo no invasivo ideal para que sea utilizado por niños.

Existen experiencias previas con el uso de Leap Motion para terapias de rehabilitación motora fina. El trabajo de (Postolache et al., 2018) desarrollaron un juego en donde el paciente toma cubos de colores y los pone en una cesta, el juego es flexible en el sentido de identificar si se trabaja la mano derecha o izquierda. Este trabajo evalúa la usabilidad del juego haciendo uso del cuestionario QUIS: Questionnaire for User Interaction Satisfaction, el cual se enfoca en los mensajes de la pantalla, su ubicación, la facilidad de seguimiento entre otras cosas. Si bien nuestro trabajo también está orientado a rehabilitación motora en manos, nuestra propuesta se enfoca más en medir la usabilidad de sistemas orientados a pacientes con el cuestionario SEQ (Suitability Evaluation Questionary) (Gil-Gómez & Manzano-Hernández, 2013).

El trabajo de Cortés-Pérez et al. (2021) hacen uso de Leap Motion en la rehabilitación de deficiencias motoras en pacientes con enfermedades del sistema nervioso central. La investigación compara la terapia virtual con la terapia tradicional. Su estudio mostró mejoras en la movilidad de las extremidades superiores y las tareas orientadas a la movilidad de las mismas, mas no se presenta un estudio de usabilidad.

De Oliveira et al. (2016) combinaron el uso del dispositivo Leap Motion con el sensor electroencefalográfico “MinWave” para crear un entorno virtual de juego terapéutico. La propuesta se centró en la validación por ocho expertos en terapia física para evaluar si ellos consideraban que podría ser parte de su práctica diaria. La principal diferencia con nuestra propuesta está nuevamente con el tipo de test de validación utilizado, así como al utilizar el dispositivo MinWare permitiría el poder medir niveles de atención y concentración durante las sesiones.

Iosa et al. (2015) desarrollaron juegos de rehabilitación para pacientes de la tercera edad que tuvieron accidente cerebrovascular e hicieron un estudio piloto de viabilidad y medir la eficacia de la intervención mediante la escala de Abilhand para evaluar la capacidad manual. La principal diferencia con nuestro trabajo está en que nuestra propuesta aún no ha probado la efectividad con pruebas clínicas como en el estudio descrito, solamente nos hemos centrado en la usabilidad. Dado que nuestro trabajo se enfoca en ejercicios para destreza manual el test clínico que se pretende utilizar es el Box and Block test.

Chen et al. (2016) desarrollaron un sistema que mide los temblores utilizando el dispositivo de tracking óptico Leap Motion, los autores analizaron las ventajas y desventajas de este dispositivo con respecto a los utilizados en la actualidad, encontrando que es útil debido a su tamaño y a que el paciente no necesita llevar acelerómetros u otros en las manos o dedos. El trabajo coincide en que Leap Motion permite el poder utilizar las manos con libertad y no tener que llevar dispositivos adicionales que puedan causar molestias en los pacientes, más aún si ya tienen problemas actualmente.

Como se puede observar el uso de Leap Motion para desarrollar un sistema puede ser abordado desde muchas perspectivas y medido en una etapa inicial con diferentes instrumentos de usabilidad previamente validados. Si bien en el trabajo ha hecho uso de SEQ orientado a pacientes, el estudio podría ser complementado con otros instrumentos mencionados por otros investigadores. Así mismo el trabajo resalta las consideraciones a tener en cuenta cuando se quiere desarrollar un juego serio orientado a rehabilitación virtual además de presentar la propuesta de los resultados obtenidos se puede observar que la propuesta tiene aceptación (Q1, Q3, Q4, Q5) pero es necesario trabajar en la interfaz en cuanto a información adicional (Q6). De acuerdo a las preguntas abiertas es necesario explicar mejor cuando se ganan los puntos y el rol de las recompensas y cómo se consiguen. La pregunta Q2 es aceptable en el sentido de que se trata de un juego en 2D y no permite la inmersión que daría un juego en 3D que probablemente arrojaría un puntaje mayor.

En cuanto a la adecuación (Q7-Q10) los resultados también son alentadoras. Las preguntas abiertas reflejaron una pequeña molestia por la posición del brazo para controlar el movimiento mientras más tiempo pasaba interactuando con el juego. Finalmente, las preguntas Q12 y Q13 han mostrado que el uso de Leap Motion no representa mayor dificultad para los usuarios y que las tareas a realizar son sencillas de ejecutar.

Hemos encontrado la aplicación del SEQ de mucha utilidad para validar la propuesta de juego en diferentes aspectos y obtener retroalimentación muy valiosa antes de probarlo con niños. Una acción a tomar considerar un soporte para apoyar el brazo para realizar los ejercicios.

En cuanto a las consideraciones de diseño descritas nuestra propuesta ha considerado las cuatro (aprendizaje mediante la observación, práctica, retroalimentación aumentada y motivación). En cuanto a la primera se hizo énfasis en el uso del avatar que refleje sus movimientos, pero al tratarse de un juego en 2D no se incluyó la propia imagen del usuario interactuando con los objetos en el entorno virtual. En esta primera versión del juego no se ha considerado tampoco al profesor virtual que enseñe la forma correcta de hacer el movimiento. Esto debido a que el juego está enfocado en lograr la funcionalidad más que en la precisión.

Con respecto al segundo punto el juego considera la repetición del movimiento el cual es configurado por el especialista médico según la necesidad del paciente (cantidad de saltos para llegar al objetivo). Los movimientos que hacen desplazarse saltar al avatar entrenan movimientos que son idénticos a los requeridos en tareas de la vida real (de acuerdo a la clasificación de la ICF). Así mismo es posible individualizar a diferentes niveles de desafío.

En cuanto a la retroalimentación esta está dada por los puntos que va ganando el avatar el cual va acompañado de un sonido (retroalimentación visual y auditiva). Finalmente, con respecto a la motivación esta está orientada a superar retos y el logro de objetivos. Si bien no existe la competición entre pacientes. La competencia es contra uno mismo al superar el propio puntaje y cada vez en menor tiempo.

En la literatura se presentan diversas experiencias orientadas a rehabilitación de motor fino que hacen uso de diversos dispositivos tanto a nivel de tracking inercial (guantes y sensores) (Friedman et al., 2014); (Nguyen et al., 2022; Zondervan et al., 2016) como de tracking óptico (uso de cámaras para seguimiento). La elección que se hizo fue Leap Motion por motivos de costo ya que es un dispositivo de bajo costo comparado con otros equipos y que presenta ya una validación en cuanto a su precisión. Así mismo es considerado un dispositivo no invasivo ideal para que sea utilizado por niños.

Existen experiencias previas con el uso de Leap Motion para terapias de rehabilitación motora fina. El trabajo de (Postolache et al., 2018) desarrollaron un juego en donde el paciente toma cubos de colores y los pone en una cesta, el juego es flexible en el sentido de identificar si se trabaja la mano derecha o izquierda. Este trabajo evalúa la usabilidad del juego haciendo uso del cuestionario QUIS: Questionnaire for

User Interaction Satisfaction, el cual se enfoca en los mensajes de la pantalla, su ubicación, la facilidad de seguimiento entre otras cosas. Si bien nuestro trabajo también está orientado a rehabilitación motora en manos, nuestra propuesta se enfoca más en medir la usabilidad de sistemas orientados a pacientes con el cuestionario SEQ (Suitability Evaluation Questionary) (Gil-Gómez & Manzano-Hernández, 2013).

El trabajo de Cortés-Pérez et al. (2021) hacen uso de Leap Motion en la rehabilitación de deficiencias motoras en pacientes con enfermedades del sistema nervioso central. La investigación compara la terapia virtual con la terapia tradicional. Su estudio mostró mejoras en la movilidad de las extremidades superiores y las tareas orientadas a la movilidad de las mismas, mas no se presenta un estudio de usabilidad.

De Oliveira et al. (2016) combinaron el uso del dispositivo Leap Motion con el sensor electroencefalográfico “MinWave” para crear un entorno virtual de juego terapéutico. La propuesta se centró en la validación por ocho expertos en terapia física para evaluar si ellos consideraban que podría ser parte de su práctica diaria. La principal diferencia con nuestra propuesta está nuevamente con el tipo de test de validación utilizado, así como al utilizar el dispositivo MinWare permitiría el poder medir niveles de atención y concentración durante las sesiones.

Iosa et al. (2015) desarrollaron juegos de rehabilitación para pacientes de la tercera edad que tuvieron accidente cerebrovascular e hicieron un estudio piloto de viabilidad y medir la eficacia de la intervención mediante la escala de Abilhand para evaluar la capacidad manual. La principal diferencia con nuestro trabajo está en que nuestra propuesta aún no ha probado la efectividad con pruebas clínicas como en el estudio descrito, solamente nos hemos centrado en la usabilidad. Dado que nuestro trabajo se enfoca en ejercicios para destreza manual el test clínico que se pretende utilizar es el Box and Block test.

Chen et al. (2016) desarrollaron un sistema que mide los temblores utilizando el dispositivo de tracking óptico Leap Motion, los autores analizaron las ventajas y desventajas de este dispositivo con respecto a los utilizados en la actualidad, encontrando que es útil debido a su tamaño y a que el paciente no necesita llevar acelerómetros u otros en las manos o dedos. Nuestro trabajo coincide en que Leap Motion permite el poder utilizar las manos con libertad y no tener que llevar dispositivos adicionales que puedan causar molestias en los pacientes, más aún si ya tienen problemas actualmente.

Como se puede observar el uso de Leap Motion para desarrollar un sistema puede ser abordado desde muchas perspectivas y medido en una etapa inicial con diferentes instrumentos de usabilidad previamente validados. Si bien nuestro trabajo ha hecho uso de SEQ orientado a pacientes, nuestro estudio podría ser complementado con otros instrumentos mencionados por otros investigadores. Así mismo, nuestro trabajo resalta las consideraciones a tener en cuenta cuando se quiere desarrollar un juego serio orientado a rehabilitación virtual además de presentar la propuesta.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo mostró un juego serio como soporte para rehabilitación motora en niños. El desarrollo tuvo la constante asesoría de médicos especialistas en terapia física quienes identificaron las actividades que se requería potenciar de acuerdo a la clasificación internacional ICF. El desarrollo consideró los atributos requeridos de los sistemas de rehabilitación virtual para terapias: aprendizajes observacionales, retroalimentación, repetición y motivación. Dado que el juego se desarrolla en un ambiente 2D no fue posible incluir algunas de las características específicas del atributo de aprendizaje observacional como es el caso de que el paciente se vea en el entorno virtual. La ausencia de dicha característica se vio reflejada en los resultados del SEQ en cuanto a que tanto sintió el usuario el estar en el ambiente del sistema. Con respecto a otros sistemas de tipo inmersivo, Leap Motion tiene la ventaja de que no causa molestias en cuanto a mareos y/o náuseas, además que sus características hacen que no exista contacto físico con la piel,

lo cual es una ventaja cuando se trata de niños. Las limitaciones del estudio están dadas por la limitada cantidad de personas que contestaron el SEQ considerando que eran personas sanas. Como trabajo futuro se pretende atender a las sugerencias recibidas en las preguntas abiertas del SEQ y realizar la validación con los niños ampliando la muestra.

FINANCIAMIENTO

Ninguno.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Saavedra-Parisaca, E.; Vidal-Duarte, E.

Curación de datos: Saavedra-Parisaca, E.; Vidal-Duarte, E.

Análisis formal: Saavedra-Parisaca, E.; Vidal-Duarte, E.

Investigación: Saavedra-Parisaca, E.; Vidal-Duarte, E.

Metodología: Saavedra-Parisaca, E.; Vidal-Duarte, E.

Supervisión: Vidal-Duarte, E.

Redacción - borrador original: Saavedra-Parisaca, E.; Vidal-Duarte, E.

Redacción - revisión y edición: Vidal-Duarte, E.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bachmann, D., Weichert, F., & Rinkenauer, G. (2018). Review of Three-Dimensional Human-Computer Interaction with Focus on the Leap Motion Controller. *Sensors*, *18*(7), 2194. <https://doi.org/10.3390/s18072194>
- Blake, H. L., & McLeod, S. (2018). *The International Classification of Functioning, Disability and Health: Considering Individuals From a Perspective of Health and Wellness*. Global Issues in Communication Sciences and Related. <https://doi.org/10.1044/persp3.SIG17.69>
- Chen, K.-H., Lin, P.-C., Chen, Y.-J., Yang, B.-S., & Lin, C.-H. (2016). Development of method for quantifying essential tremor using a small optical device. *Journal of Neuroscience Methods*, *15*, 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2016.03.014>
- Cortés-Pérez, I., Zagalas-Anula, N., Montoro-Cárdenas, D., Lomas-Vega, R., Obrero-GaitánEsteban, & Osuna-Pérez, M. C. (2021). Leap Motion Controller Video Game-Based Therapy for Upper Extremity Motor Recovery in Patients with Central Nervous System Diseases. A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sensors*, *21*(6), 2065. <https://doi.org/10.3390/s21062065>
- De Oliveira, J. M., Fernandes, C. G., Pinto, C. S., Pinheiro, P. R., Ribeiro, S., & C. de Albuquerque, V. H. (2016). Novel Virtual Environment for Alternative Treatment of Children with Cerebral Palsy. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2016*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2016/8984379>
- Filho, I. A. S. (2018). Gesture Recognition Using Leap Motion: A Machine Learning-based Controller Interface. In *Computing Track* (p. 5). Sciences of Electronics, Technologies of Information and Telecommunications (SETIT). https://www.researchgate.net/publication/333759237_Gesture_Recognition_Using_Leap_Motion_A_Machine_Learning-based_Controller_Interface

- Friedman, N., Chan, V., Reinkensmeyer, Andrea N Beroukhim, A., Zambrano, Gregory J Bachman, M., & Reinkensmeyer, D. J. (2014). Retraining and assessing hand movement after stroke using the MusicGlove: comparison with conventional hand therapy and isometric grip training. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 11(76). <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-76>
- Gil-Gómez, J.-A., & Manzano-Hernández, P. (2013). SEQ: Suitability Evaluation Questionnaire for Virtual Rehabilitation Systems. Application in a Virtual Rehabilitation System for Balance Rehabilitation. *7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare and Workshops, May*, 1–5. <https://doi.org/10.4108/pervasivehealth.2013.252216>
- Iosa, M., Morone, G., Fusco, A., Castagnoli, Marcello Fusco, Francesca Romana Pratesi, L., & Paolucci, S. (2015). Leap motion controlled videogame-based therapy for rehabilitation of elderly patients with subacute stroke: a feasibility pilot study. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 22(4), 306–316. <https://doi.org/10.1179/1074935714Z.0000000036>
- Levac, D., Missiuna, C., Wishart, L., Dematteo, C., & Wright, V. (2011). Documenting the content of physical therapy for children with acquired brain injury: development and validation of the motor learning strategy rating instrument. *The Journal of Physical Therapy Science*, 91(5), 689–699. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100415>
- Michael, D. R., & Chen, S. L. (2005). *Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade.
- Miller, K. J., Adair, B. S., Pearce, A. J., Said, C. M., Ozanne, E., & Morris, M. M. (2014). Effectiveness and feasibility of virtual reality and gaming system use at home by older adults for enabling physical activity to improve health-related domains: a systematic review. *Age and Ageing*, 42(2), 188–195. <https://doi.org/10.1093/ageing/aft194>
- Nguyen, T., Choromanski, L., Kreuzer, T., & Stroppini, J. (2022). Exploring the Feasibility of a Virtual, Home-Based MusicGlove Protocol for Children with Hemiparetic Cerebral Palsy. *The Open Journal of Occupational Therapy*, 10(1), 1–15. <https://doi.org/10.15453/2168-6408.1836>
- Oh, Y., & Yang, S. (2010). Defining Exergames & Exergaming. *Meaningful Play*. https://www.researchgate.net/publication/230794344_Defining_exergames_exergaming
- Postolache, G., Carry, F., Lourenço, F., Ferreira, D., Oliveira, R., Silva Girão, P., & Postolache, O. (2018). Serious Games Based on Kinect and Leap Motion Controller for Upper Limbs Physical Rehabilitation. In S. C. Mukhopadhyay, K. P. Jayasundera, & O. A. Postolache (Eds.), *Modern Sensing Technologies* (pp. 147–177). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99540-3_8
- Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2005). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis* (H. Kinetics (ed.); 4th ed.).
- Senin, P. (2008). Dynamic Time Warping Algorithm Review. *Information and Computer Science Department*, 855(1–23), 40. https://seninp.github.io/assets/pubs/senin_dtw_litreview_2008.pdf
- Thompson, D., Baranowski, T., Buday, R., Baranowski, J., Thompson, V., Jago, R., & Griffith, M. J. (2010). Serious Video Games for Health How Behavioral Science Guided the Development of a Serious Video Game. *Simulation and Gaming*, 41(4), 587–606. <https://doi.org/10.1177/1046878108328087>
- Ultraleap. (2021). *Leap Motion Controller*. <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>
- Vamsikrishna, K. M., Dogra, D. P., & Desarkar, M. S. (2016). Computer-Vision-Assisted Palm Rehabilitation With Supervised Learning. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(5), 991–1001. <https://doi.org/10.1109/TBME.2015.2480881>

- Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., & Fisseler, D. (2013). Analysis of the Accuracy and Robustness of the Leap Motion Controller. *Sensors*, *13*(5), 6380–6393. <https://doi.org/10.3390/s130506380>
- Wozniak, P., Vauderwange, O., Mandal, A., Javahiraly, N., & Curticapean, D. (2016). Possible applications of the LEAP motion controller for more interactive simulated experiments in augmented or virtual reality. In G. G. Gregory (Ed.), *SPIE Optical Engineering Applications*. <https://doi.org/10.1117/12.2237673>
- Zondervan, D. K., Friedman, N., Chang, E., Zhao, X., Augsburger, R., Reinkensmeyer, D. J., & Cramer, S. C. (2016). Home-based hand rehabilitation after chronic stroke: Randomized, controlled single-blind trial comparing the MusicGlove with a conventional exercise program. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *53*(4), 457–472. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2015.04.0057>