



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN / RESEARCH ARTICLE

<http://dx.doi.org/10.14482/inde.37.2.1629>

Ajuste dinámico de dificultad en aplicaciones de realidad virtual para rehabilitación del miembro superior

*Dynamic difficulty adjustment in virtual
reality applications for upper limb rehabilitation*

YESSICA MARÍA VALENCIA LEMOS*

JHON JAMILTON MAJIN ERAZO**

DIEGO ENRIQUE GUZMÁN VILLAMARÍN***

JERÓNIMO LONDOÑO PRIETO****

*Estudiante de Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. yessicam@unicauca.edu.co.

**Estudiante de Ingeniería en Automática Industrial, Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. jhonjam@unicauca.edu.co

***Docente de la Universidad del Cauca, Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Msc. en Automática. diegoguzman@unicauca.edu.co

****Docente de la Universidad del Cauca, Departamento de Fisioterapia. Msc. en Neurorrehabilitación. jlondono@unicauca.edu.co

Correspondencia: Yessica María Valencia Lemos, 3208822485, carrera 18 B casa número 3, Popayán.



Resumen

El objetivo de este trabajo fue comparar la incidencia de un ajuste dinámico de dificultad (ADD) en un juego de rehabilitación de habilidad motriz frente a una configuración manual. Para ello se desarrolló una herramienta virtual denominada “Atrapa insectos”, enfocada en la rehabilitación del miembro superior con un ADD basado en lógica difusa. La población involucrada para este estudio está compuesta por dos usuarios: una paciente de 18 años de edad con una hemiparesia que limita su habilidad motriz en el miembro superior izquierdo, y un paciente de 37 años que presenta una monoparesia motora en su miembro superior derecho. La herramienta fue evaluada en los dos usuarios, cada uno con una configuración diferente (automática o manual), y se midió la habilidad motriz de ambos participantes de forma objetiva a través de la Box and Blocks Test, la cual fue implementada antes, durante y al finalizar las sesiones; adicionalmente, se definió un índice de desempeño (porcentaje de acierto) con el propósito de determinar el progreso de los participantes en la herramienta virtual. Como resultado se obtuvo que el usuario 1 utilizando el juego con ADD logró obtener no solo un mejor desempeño en las sesiones sino también un avance importante en su habilidad motriz en comparación al usuario 2 con la configuración manual.

Palabras clave: ajuste dinámico de dificultad, juegos serios, lógica difusa, miembro superior, realidad virtual, rehabilitación.

Abstract

The objective of this paper was to compare the incidence of dynamic difficulty adjustment (DDA) in a in a motor skill rehabilitation game, compared to a manual configuration. To achieve that, a virtual tool called “Bug catcher” was developed, which is focused in upper limb rehabilitation. This tool uses a DDA based in fuzzy logic. The population involved for the present study were made by two users, an 18-year-old patient with a hemiparesis that limits her motor ability in her left upper limb, and a 37-year-old patient with motor monoparesis in his right upper limb. This tool was used in both users, each one with a different configuration (automatic or manual), and the motor ability from both participants was objectively measured using Box and Blocks Test, applied before, during and after each session; additionally, a performance index (percentage of success) was defined in order to determine the progress of the participants in the virtual tool. As a result, it was obtained that user number one using the game with DDA, managed to obtain not only a better performance in the sessions but also an important advance in her motor skill in comparison to the user 2 with the manual configuration.

Keywords: dynamic difficulty adjustment, fuzzy logic, rehabilitation, serious game, upper limb, virtual reality.

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cerebrovasculares (ECV) son una de las principales causas de muerte en el mundo según la Organización Mundial de la Salud [1]. En casos no mortales se estima que el 85 % presenta secuelas que pueden afectar su calidad de vida, como parálisis, debilidad y/o dolor en los movimientos de sus extremidades superiores, especialmente en las áreas de la mano y la muñeca [2], [3], [4]; por esta razón, los pacientes deben asistir a terapias de rehabilitación que ayuden a recuperar y a mejorar las habilidades sensoriomotrices mediante la aplicación y realización de actividades de rehabilitación.

Debido a la naturaleza repetitiva de los ejercicios de rehabilitación, estos tienden a ser monótonos y aburridos y provocan la falta de interés por parte de los usuarios [5]; con esto se pierde un factor importante en la rehabilitación, ya que la motivación y el compromiso en las sesiones de terapia son claves para que los pacientes obtengan mejores resultados [6], [7]. Con la finalidad de mejorar estos factores se han realizado estudios [8], [9] en los que se han identificado los beneficios de usar juegos serios en la terapia de movimiento para mejorar el equilibrio, el control postural y la motricidad fina [5]. Esta tecnología ha generado un gran interés entre los profesionales de la salud [10], [11] al ser herramientas prometedoras en el proceso de rehabilitación; además tienen la ventaja de proporcionar a los jugadores una mayor inmersión en las actividades que realizan sin ser conscientes muchas veces del paso del tiempo [12].

El interés creciente por la utilización de juegos serios para rehabilitación ha generado la necesidad de innovar en técnicas y herramientas que soporten el proceso de construcción de estos, lo que da paso a nuevos desafíos en la ingeniería de software y hardware. En la actualidad existen gran variedad de herramientas hardware que han sido implementadas en los juegos serios para rehabilitación, como: EyeToy [13] de PlayStation 2, Kinect [14] de Microsoft, Wii [15] de Nintendo y el sistema Irex [16] de GestureTek; dichos artefactos se han utilizado principalmente como una herramienta que brinda a los jugadores una nueva forma de interactuar con videojuegos, y así promover la actividad física [17]; además, se han incluido tecnologías como la realidad virtual (RV) en los juegos serios que agrega riqueza al entorno y tiene el potencial de mejorar el resultado del paciente [5]. La literatura ha demostrado que estas tecnologías presentan grandes beneficios para la terapia y es una forma llamativa y efectiva de proporcionar rehabilitación a las personas con ECV [18].

La ingeniería de software ha creado técnicas para hacer de estos videojuegos más independientes y minimizar la presencia constante de un profesional a cargo de las sesiones [5], ya que por lo general es el terapeuta quien proporciona a los pacientes el nivel de dificultad en el juego basado en su conocimiento [19], [20]. Una de estas técnicas desarrolladas se conoce como ajuste dinámico de dificultad (ADD) [21]; esta

proporciona un nivel de dificultad dinámico en relación con las habilidades que presenta el usuario al interactuar con el juego. Desde esta perspectiva, los juegos con ADD proporcionan a los pacientes un entorno motivador y desafiante según sus capacidades neuromotoras.

En la revisión de estudios previos y la literatura actual se puede notar que hay un alto número de publicaciones sobre juegos con ADD enfocados en rehabilitación del miembro superior [5], [13], [22], [23], [24]. El objetivo de estas investigaciones es determinar el impacto que genera este tipo de juegos en el rendimiento del paciente; sin embargo, en muy pocos estudios hablan de los beneficios reales que presentan este tipo de juegos en el mejoramiento de la habilidad motriz por encima de una configuración manual; por lo tanto, el objetivo de esta investigación es comparar los resultados obtenidos a través de la ejecución de un juego con ADD y con la configuración manual. Para ello se desarrolló una herramienta de rehabilitación de miembro superior, denominada “Atrapa insectos”, que combina la realidad virtual con técnicas de ADD haciendo uso de la lógica difusa. Este artículo se encuentra estructurado de la siguiente manera: la sección II describe los materiales y métodos; III contiene los resultados; la IV está dedicada a la discusión y la sección V a las conclusiones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

La población involucrada en esta prueba incluye una paciente de género femenino de 18 años, con diagnóstico médico de parálisis cerebral infantil, lo cual le generó una hemiparesia izquierda que limita moderadamente su habilidad motriz; y un paciente de 37 años de género masculino que sufrió hace aproximadamente 12 años un trauma craneoencefálico como consecuencia de una herida producida por un arma cortopunzante, el cual le generó una monoparesia de la extremidad superior derecha, que limita levemente su habilidad motriz. Todos los participantes en este estudio firmaron el consentimiento informado para permitir el análisis y publicación de los datos.

Protocolo

Las sesiones con la herramienta virtual presentan las siguientes características:

- El ejercicio se realiza con ambas manos; la mano con la que inicia la sesión se escoge de forma arbitraria con el lanzamiento de una moneda.
- Se verifica la posición del usuario en la silla durante toda la sesión para evitar movimientos compensatorios del tronco y/o las extremidades.

- Los dos usuarios, en ambos casos, realizaron cinco sesiones por semana durante cuatro semanas (un total de 20 sesiones).
- En cada sesión, el usuario participa en varias pruebas; estas pruebas duran entre [0,5 - 4] min, con un descanso de un minuto entre cada prueba. La sesión finaliza cuando se han completado 8 min de ejecución sin contar los tiempos de descanso.

Como método de evaluación de la habilidad motriz se escogió la Box and block Test (BBT); para la realización de esta prueba se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

1. Esta prueba se realiza tres veces: antes de iniciar, en la mitad (sesión 11) y al finalizar (terminada la sesión 20).
2. La prueba comienza con la extremidad superior no afectada y se permite un período de prueba de 15 segundos al comienzo de cada lado [25].
3. La puntuación final obtenida es el número de bloques que pasó en un tiempo de 1 minuto de un compartimiento a otro. En la figura 1 se muestra al usuario realizando la BBT.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 1. EJECUCIÓN DE LA BBT

Descripción del software

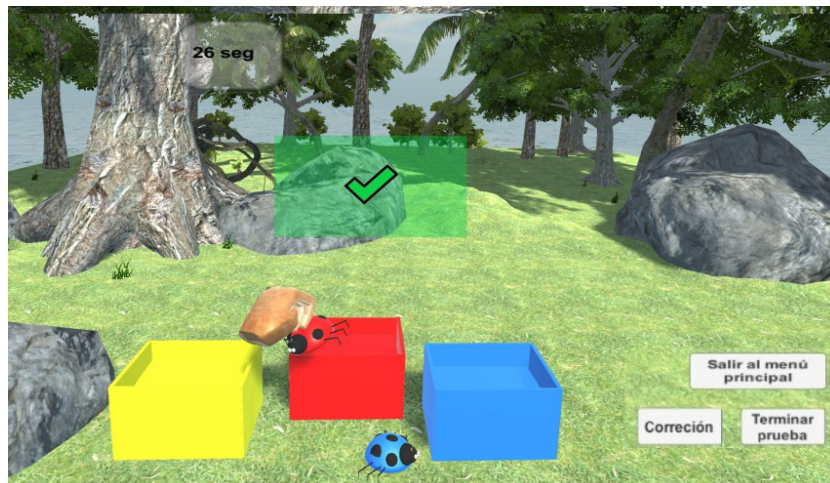
La herramienta virtual desarrollada se implementa utilizando una PC (procesador Intel Core i5-7200U 2.5 GHz) con acelerador de gráficos (NVIDIA GeForce 940 MX con 1GB VRAM); un monitor LCD de 22 pulgadas (Acer modelo E221Hc); un dispositivo lector de gestos (*Leap Motion* modelo LM-010). En la figura 2 se presenta al usuario realizando la prueba con la herramienta virtual.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 2. HERRAMIENTA VIRTUAL

El escenario de la herramienta virtual “Atrapa insectos” se desarrolló en la aplicación de Unity 3D; esta consiste en 8 escenas con diferentes ambientes de naturaleza; en la figura 3 se muestra la escena correspondiente a la prueba manual y al nivel inicial de la prueba automática; en estos entornos se integra una cantidad de cajas, de una a cuatro, y un número de insectos de acuerdo con el número de cajas; cada prueba tiene un límite de tiempo que es mostrado de forma regresiva en el juego; además, se incluye el modelo de la mano en 3D en la que el usuario puede tener una vista en primera persona de su mano. Los movimientos de los dedos físicos del usuario son capturados por el dispositivo *Leap Motion* y asignados a los movimientos de los dedos virtuales.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 3. ENTORNO VIRTUAL

El juego consta de dos parámetros importantes: las cajas y los insectos; estos determinan la dificultad del juego al presentar diferentes configuraciones. Las cajas pueden estar alineadas (todas ubicadas en la misma profundidad) o intercaladas (variación en la profundidad entre las cajas); los insectos presentan dos estados: caminando (diferentes velocidades) o quietos. La idea del juego es que el usuario ingrese todos los insectos que salen en la escena dentro de las cajas de su respectivo color; como parámetro de dificultad, los insectos tienen un tiempo de desaparición, cuando el tiempo total de la prueba ha finalizado, se contabiliza cuántos insectos atrapó y se divide sobre el total que salieron; este resultado se presenta en forma de porcentaje de [0-100] %.

El juego se puede ejecutar de dos formas: de forma manual y automática; estas dos configuraciones se describen a continuación:

- *Configuración manual:* En esta configuración el fisioterapeuta selecciona manualmente los parámetros de dificultad del juego: número de cajas, rutina de las mariquitas (quietas o caminando a diferentes velocidades) y la posición de las cajas (alineadas o intercaladas) adicionalmente se escoge la mano que se va a utilizar (derecha o izquierda) y la opción de mostrar o no el tiempo regresivo de la prueba en pantalla.
- *Configuración automática:* Esta configuración puede ajustar de forma autónoma la dificultad de la prueba cambiando los parámetros del juego.

Control Lógico Difuso en la Herramienta Virtual “Atrapa Insectos”

En este estudio se desarrolló un sistema Fuzzy de múltiples entradas y una única salida (MISO) como técnica de adaptación de dificultad. Este sistema de inferencia difuso propone diversos niveles de dificultad de acuerdo con el rendimiento del paciente; los factores de dificultad están basados en parámetros de entrada que proporcionan un valor cuantificado que describe el rendimiento del paciente en la prueba [26]. Para el desarrollo de este sistema se evaluó a 100 personas entre [18-67] años, sin ninguna limitación motora. A continuación se realiza una síntesis de los pasos que se tuvieron en cuenta para el diseño del sistema difuso.

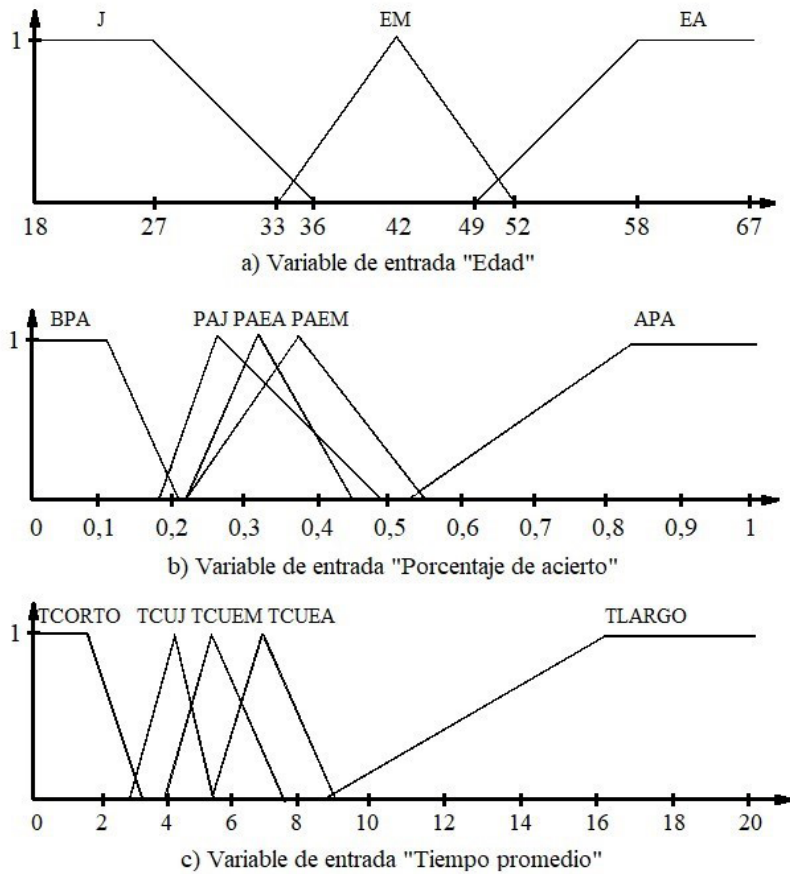
Variables de entrada y salida: Las principales variables de entrada en el juego que definen el rendimiento del paciente con sus respectivas variables lingüísticas y el universo del discurso (U) se describen en la tabla 1.

TABLA 1. POBLACIÓN INVOLUCRADA

| Entrada | Variables lingüísticas | U |
|-----------------------------|--|---------------|
| Edad (E) | J: joven; EM: edad media; EA: edad avanzada | [18, 67] años |
| Porcentaje de aciertos (PA) | BPA: bajo porcentaje de acierto; PAJ: porcentaje de acierto de jóvenes; PAEM: porcentaje de acierto edad media; PAEA: porcentaje de acierto de edad avanzada; APA: alto porcentaje de acierto. | [0, 1] % |
| Tiempo promedio (TCU) | TCORTO: tiempo corto; TCUJ: tiempo de jóvenes; TCUEM: tiempo de edad media; TCUEA: tiempo de edad avanzada; TLARGO: tiempo largo. | [0, 20] seg |

Fuente: elaboración propia.

Se obtiene como salida el nivel de dificultad expresado en una variable discreta (N: nivel) con siete subconjuntos: N1: nivel 1, N2: nivel 2, ... N7: nivel 7. Las funciones de pertenencia o de membresía asociadas a cada subconjunto de las variables de entrada se obtienen al realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos en las pruebas con usuarios sanos; se hace uso de un método propuesto en [27], donde determinan las funciones de pertenencia basados en la distribución y densidad de los datos a través de un diagrama de cajas y bigotes; a partir de este diagrama se toma el rango intercuartílico definido por el [25- 75] % de los datos; en este rango se encuentran los resultados promedio obtenidos por la población experimental y cuyos resultados son la base de comparación con las personas con limitaciones motoras. Las funciones tipo triangulares de conjuntos difusos son consistentes dentro de las restricciones anteriormente descritas con pequeñas superposiciones de errores arbitrarios y funciones tipo semi-trapezoidales para los extremos; estas funciones se presentan en la figura 4.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 4. VARIABLES DE ENTRADA DEL SISTEMA DIFUSO IMPLEMENTADO EN LA HERRAMIENTA VIRTUAL

- **Reglas lingüísticas:** las reglas se derivan de los hallazgos experimentales, las principales hipótesis conjuntas en el rendimiento del juego y el conocimiento que implica las relaciones entre las variables; estas se describen a continuación:
 - Hipótesis de rendimiento:** si una persona con limitaciones motoras de edad (x) obtiene un resultado igual o mejor que el resultado promedio obtenido por una persona sana de su misma edad, presenta un alto rendimiento (AR); si, por el contrario, obtiene un resultado menor del promedio, presenta un bajo rendimiento (BR).
 - Relación entre las variables de entrada:** para determinar el rendimiento es necesario realizar un análisis comparativo entre las entradas; en las tablas 2 y 3 se presenta el análisis del rendimiento de la edad con el porcentaje de acierto y el tiempo promedio, respectivamente. Para realizar este análisis se tienen

en cuenta tres factores: la hipótesis de rendimiento (HR), el grupo de edad (E) y el porcentaje de rendimiento; este último presenta un rango de [25-100] %, en donde 100 % equivale al máximo valor a obtener en un alto rendimiento (AR) y el mínimo valor en un bajo rendimiento (BR).

TABLA 2. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO PORCENTAJE DE ACIERTO

| HR | E | Porcentaje de rendimiento | | | |
|----|----|---------------------------|------|------|------|
| | | 100 % | 75 % | 50 % | 25 % |
| AR | J | APA | PAEM | PAEA | PAJ |
| BR | J | BPA | | | |
| AR | EM | APA | PAEM | PAEA | |
| BR | EM | BPA | PAJ | | |
| AR | EM | APA | PAEM | PAEA | |
| BR | EM | BPA | | PAJ | |

Fuente: elaboración propia.

TABLA 3. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO TIEMPO PROMEDIO

| HR | E | Porcentaje de rendimiento | | | |
|----|----|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | 100 % | 75 % | 50 % | 25 % |
| AR | J | TCORTO | TCUJ | | |
| BR | J | TLARGO | TCUEA | TCUEM | |
| AR | EM | TCORTO | TCUJ | TCUEM | |
| BR | EM | TLARGO | TCUEA | | |
| AR | EA | TCORTO | TCUJ | TCUEM | TCUEA |
| BR | EA | TLARGO | | | |

Fuente: elaboración propia.

Para determinar las reglas es necesario evaluar simultáneamente las tres variables de entrada, y se obtienen en total 49 combinaciones en las que se dará prioridad al porcentaje de acierto sobre el tiempo promedio (ver tablas 4 y 5). Con esto se asigna un nivel de 1 a 7, con una probabilidad de acceso de los niveles 7 y 6 del 8,16 %, el nivel 4 con 18,36 % y los niveles restantes (3, 2, 1) con 16,32 %.

TABLA 4. COMBINACIONES PARA DETERMINAR EL NIVEL CON (PA)(AR)

| PA | | | | TP | | | | | | | Nivel |
|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|-------|
| AR (%) | | | | AR (%) | | | | BR (%) | | | |
| 100 | 75 | 50 | 25 | 100 | 75 | 50 | 25 | 100 | 75 | 50 | |
| X | | | | X | X | X | X | | | | 7 |
| | X | | | X | X | X | X | | | | 6 |
| | | X | X | X | X | X | X | | | | 5 |
| X | X | X | | | | | | X | X | X | 4 |
| | | | X | | | | | X | X | X | 3 |

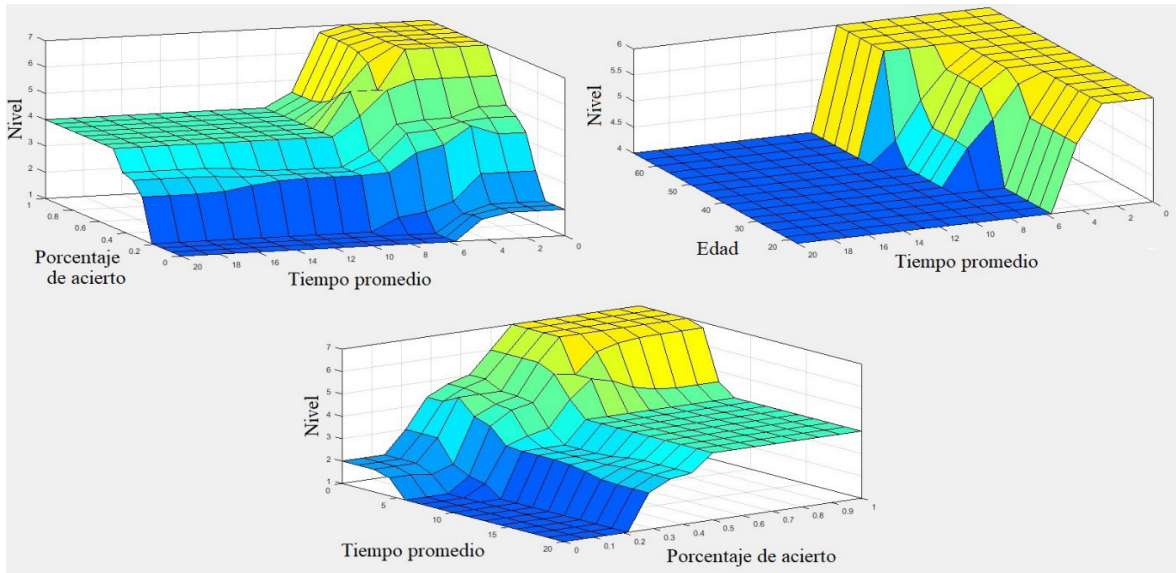
Fuente: elaboración propia.

TABLA 5. COMBINACIONES PARA DETERMINAR EL NIVEL CON (PA)(BR)

| PA | | | TP | | | | | | | | Nivel |
|--------|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|---|-------|
| BR (%) | | | AR (%) | | | | BR (%) | | | | |
| 100 | 75 | 50 | 100 | 75 | 50 | 25 | 100 | 75 | 50 | | |
| | | X | X | X | X | X | | | | 3 | |
| | X | | X | | | | | | | 3 | |
| X | X | | | X | X | X | | | | 2 | |
| X | | | X | | | | | | | 2 | |
| | | X | | | | | | | X | 2 | |
| X | X | X | | | | | X | X | | 1 | |
| X | X | | | | | | | | X | 1 | |

Fuente: elaboración propia.

Con las tablas 2, 3, 4 y 5 se pueden determinar las reglas difusas; y se obtuvieron 75 reglas con la superficie mostrada en la figura 5.

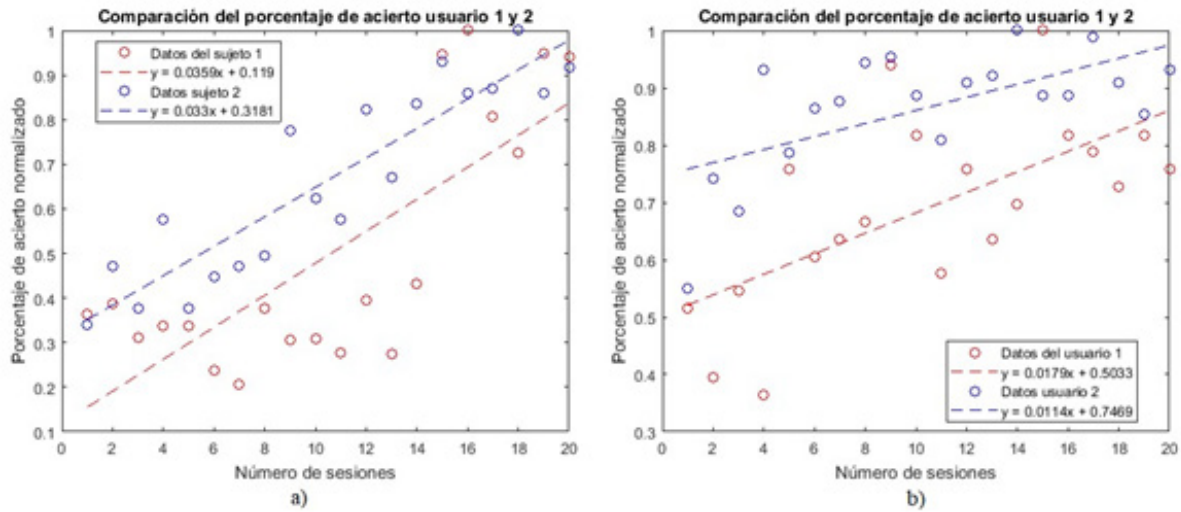


Fuente: elaboración propia.

FIGURA 5. SUPERFICIE DEL SISTEMA DIFUSO IMPLEMENTADO

3. RESULTADOS

Como medida de desempeño adicional a la prueba BBT se tiene el porcentaje de acierto promedio alcanzado por los participantes en cada sesión. Los datos fueron normalizados en un rango de [0-1] utilizando el método propuesto en [28]. En la figura 6 se presentan los resultados del porcentaje de acierto obtenidos por el usuario 1 con la configuración automática y el usuario 2 con la configuración manual. Se espera que la tendencia de las gráficas sea creciente; esto implica que a mayor número de sesiones, el participante obtuvo un mejor rendimiento. Es importante tener en cuenta que debido a la normalización de los datos no se van a comparar los resultados individuales de cada uno, sino que se va a comparar la evolución media que obtuvieron por sesión.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 6. REGRESIÓN LINEAL DEL PORCENTAJE DE ACIERTO:
 (A) MANO DOMINANTE (B) MANO NO DOMINANTE

Ambos usuarios lograron un avance importante en el porcentaje de acierto; la diferencia consiste en que el usuario 1 con ambas manos logró obtener una pendiente más pronunciada: 8 % mayor con mano dominante y 35 % mayor con mano no dominante; esto significa que obtuvo en promedio un mejor rendimiento por sesión en relación con el usuario 2.

Resultados BBT

En la tabla 6 se presentan los resultados obtenidos por los dos usuarios en las tres pruebas con la BBT.

TABLA 6. RESULTADOS BBT

| Usuario | Prueba mano dominante (BL/MIN) | | | Prueba mano no dominante (BL/MIN) | | |
|---------|--------------------------------|--------|-----|-----------------------------------|--------|-----|
| | Inicio | Inter. | Fin | Inicio | Inter. | Fin |
| 1 | 37 | 47 | 71 | 21 | 27 | 34 |
| 2 | 45 | 66 | 70 | 27 | 37 | 39 |

Fuente: elaboración propia.

Para determinar si los resultados obtenidos al final de las sesiones representaron un cambio significativo, se utilizó el método propuesto en [29], que utiliza la fórmula para el error estándar de la medida *Streiner and Norman* para encontrar un intervalo de confianza (CI) que define el rango de valores en los que un puntaje puede ser o no significativo; como punto de comparación se tomó una investigación que realizó la prueba de BBT a 446 individuos sin ninguna limitación motora [30]; de este estudio se extrajeron los datos más relevantes que permitieron determinar el valor máximo en el intervalo de confianza; en la tabla 7 se realiza el análisis del porcentaje de diferencia significativa obtenido por los dos usuarios (U) en relación con el valor máximo con un CI del 95 %.

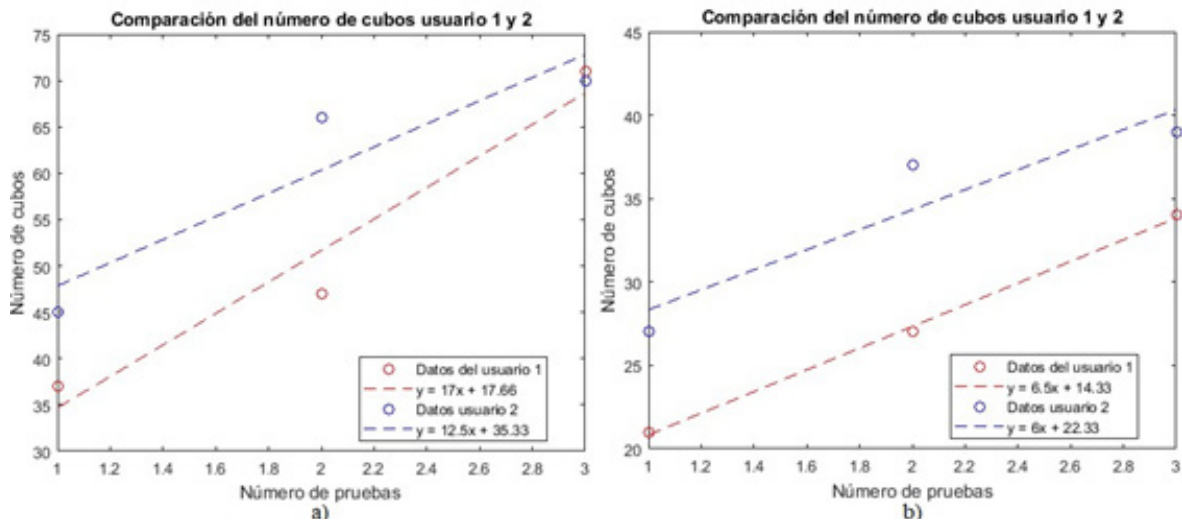
TABLA 7. ANÁLISIS DEL CAMBIO SIGNIFICATIVO

| U | Mano | N.º Bloques máximo en el CI. | BL/MIN ^a en la sesión final | Porcentaje de la diferencia |
|---|------|------------------------------|--|-----------------------------|
| 1 | D | 47,8 | 71 | 48,53 % |
| | I | 32,6 | 33 | 1,22 % |
| 2 | D | 37,3 | 39 | 4,55 % |
| | I | 55 | 70 | 27,27 % |

^aBloques por minuto.

Fuente: elaboración propia..

Ambos usuarios con las dos configuraciones (manual y automática) lograron obtener una diferencia significativa en los resultados al final de las 20 sesiones. El usuario 2 obtuvo un 3,33 % de diferencia mayor que el usuario 1, esto se presentó debido a que al usuario 1 se le dificultaba en un mayor grado el agarre de los bloques como consecuencia de su patología; por esta razón, no es posible realizar una comparación en relación con el miembro afectado, ya que, como se puede observar, ambos obtuvieron un progreso en relación con sus habilidades individuales. Por otra parte, con la mano dominante (miembro sano) sí es posible realizar una comparación, porque presentan igual capacidad de realizar movimientos y agarres sin ninguna limitación. Con este miembro se puede evidenciar la predominancia del resultado obtenido por el usuario 1 en la prueba automática; este logró un avance importante en su habilidad motriz de 21,26 % por encima del resultado obtenido por el usuario 2. Se realizó un análisis a través de regresión lineal de los datos obtenidos en la BBT con la finalidad de comparar el desempeño de los dos usuarios a lo largo de las 20 sesiones; este análisis se ilustra en la figura 7.



Fuente: elaboración propia.

FIGURA 7. REGRESIÓN LINEAL RESULTADOS BBT: (A) MANO DOMINANTE (B) MANO NO DOMINANTE

Se espera que la pendiente sea positiva; esto significa que el usuario, a mayor número de sesiones, logra ingresar un mayor número de bloques; en este análisis, al igual que el realizado en el porcentaje de acierto, no se van a tener en cuenta los datos individuales de cada participante, sino que se va a comparar el progreso que obtuvieron a lo largo de las 20 sesiones. Como se observa en la figura 7.a, el usuario 1 con la mano dominante en la prueba automática; logró una pendiente más pronunciada (26,47 % mayor) en relación con el usuario 2 esto quiere decir que logró un progreso mejor por sesión comparado con el progreso obtenido por el usuario 2; del mismo modo, con la mano no dominante figura 7.b el usuario 1 obtuvo una pendiente un poco más pronunciada (7,69 % mayor), que a pesar de ser un porcentaje pequeño y en estadística no represente una diferencia significativa, desde el punto de vista de la fisioterapia sí existe una significancia clínica.

4. DISCUSIÓN

“Atrapa insectos” es una herramienta flexible para el mejoramiento de la habilidad motriz; esta herramienta proporciona pruebas basadas en parámetros obtenidos por usuarios sanos; la configuración de dificultad se puede realizar de forma manual y automática por medio de un ajuste dinámico de dificultad.

El experimento buscó establecer si un ajuste dinámico de dificultad presentaba mayor beneficio sobre una configuración manual. Como resultado se obtuvo que el ajuste dinámico de dificultad permitió obtener en promedio un mejor desempeño por sesión en la habilidad motriz (26,47 % mayor con la mano dominante y 7,69 % mayor con la

mano no dominante); sin embargo, no es posible establecer una diferencia significativa entre las dos configuraciones, debido a la limitada población del estudio. Un resultado similar fue presentado en [31], en donde realizaron una comparación de tres versiones de juego para rehabilitación de miembro superior, con diferentes estrategias de dificultad: ADD, ajuste de dificultad incremental y aleatorio; como resultado obtuvieron que la versión del juego con ADD presentó mayores mejorías en el rendimiento de los pacientes en términos de amplitud de movimiento (distancia), no obstante, las pruebas estadísticas no fueron significativas, debido a la corta duración de la sesión de juego. Con lo anterior se concluye que para realizar una comparación entre diferentes configuraciones de juego y poder proporcionar datos concluyentes es necesario considerar factores como una población mayor y una adecuada duración de las sesiones.

El ajuste dinámico de dificultad implementado permitió al usuario obtener un mejor rendimiento, debido a que las configuraciones de dificultad se generaban acorde con las habilidades del usuario, a diferencia de la prueba manual, en la que el usuario fue sometido a diferentes configuraciones de forma subjetiva, algunas de ellas con baja dificultad que generaban resultados constantes y otras con mayor dificultad que hacían que el usuario bajara o aumentara su progreso. La configuración automática logró obtener una mejoría en el rendimiento del participante, al no exigirle obtener altos resultados sino, más, bien proporcionar una prueba adecuada que garantice su progreso constante.

5. CONCLUSIONES

El proyecto buscó estudiar los efectos de un ajuste dinámico de dificultad en la habilidad motriz de pacientes con lesión neuronamotora superior utilizando aplicaciones de realidad virtual. La estrategia de adaptación de dificultad propuesta, esencialmente un controlador Fuzzy, se comparó con una estrategia de dificultad manual. Los resultados del experimento muestran que la adaptación dinámica de dificultad generó un progreso mayor en la habilidad motriz, un parámetro importante en la rehabilitación de estos pacientes. Sin embargo, se requiere que la herramienta sea evaluada en una población mayor con diferentes grados de discapacidad para determinar si existe una diferencia significativa entre las dos configuraciones. Es importante resaltar que estos desarrollos brindan una herramienta de apoyo que evitan la necesidad de supervisión constante. Se propone a futuro realizar pruebas de uso de manera remota (sin la presencia en el lugar del especialista) integrando un sistema de videoconferencia y comparar las ventajas de utilizar otros algoritmos de adaptación de dificultad.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, “Enfermedades cardiovasculares”, *Organización Mundial de la Salud*, 2017. Available: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
- [2] K. T. Palmer, “Pain in the forearm, wrist and hand”, *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, vol. 17, n.º 1, pp. 113-135, feb 2003. doi: 10.1016/S1521-6942(02)00100-6.
- [3] A. Karime et al., “A fuzzy-based adaptive rehabilitation framework for home-based wrist training”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 63, n.º 1, pp. 135-144, jan 2014. doi: 10.1109/TIM.2013.2277536.
- [4] J. W. Burke et al., “Augmented reality games for upper-limb stroke rehabilitation”, in *2010 Second International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications*, 2010, pp. 75-78. doi: 10.1109/VS-GAMES.2010.21.
- [5] J. W. Burke et al., “Serious games for upper limb rehabilitation following stroke”, in *2009 Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications*. IEEE, mar 2009, pp. 103-110. doi: 10.1109 / VS-GAMES.2009.17.
- [6] N. Maclean et al., “A critical review of the concept of patient motivation in the literature on physical rehabilitation”, *Soc Sci Med*, vol. 50, n.º 4, pp. 495-506, 2000.
- [7] M. F. Levin, H. Sveistrup & S. K. Subramanian, “Feedback and virtual environments for motor learning and rehabilitation,” *Schedae*, vol. 1, pp. 19-36, 2010.
- [8] M. K. Holden, “Virtual environments for motor rehabilitation”, *CyberPsychology & Behavior*, vol. 8, n.º 3, pp. 187-211, jun 2005. doi: 10.1089/cpb.2005.8.187.
- [9] G. D. Fulk, “Locomotor Training and Virtual Reality-based Balance Training for an Individual with Multiple Sclerosis: A Case Report”, *Journal Neurologic Physical Therapy*, vol. 29, n.º 1, pp. 34-42, mar 2005. doi: 10.1097/01.NPT.0000282260.59078.e4.
- [10] K. P. Michmizos and H. I. Krebs, “Serious games for the pediatric anklebot”, in *Biomedical robotics and biomechatronics (BioRob)*, 2012 4th IEEE RAS & EMBS international conference on, 2012, pp. 1710-1714. doi: 10.1109/BioRob.2012.6290706.
- [11] M. Macedonia, “Virtual worlds: a new reality for treating post-traumatic stress disorder”, *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 29, n.º 1, jan 2009. doi: 10.1109/MCG.2009.18.
- [12] J. W. Burke et al., “Designing engaging, playable games for rehabilitation”, in *Proceedings of the 8th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies*, 2010, pp. 195-201.
- [13] G. Yavuzer et al., “Playstation eyetoy games improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: a randomized controlled clinical trial”, *European Journal of Physical Rehabilitation Medicine*, vol. 44, n.º 3, pp. 237-244, 2008.

- [14] Z. Zhang, “Microsoft kinect sensor and its effect”, *IEEE Multimedia*, vol. 19, n.º 2, pp. 4–10, feb 2012. doi: 10.1109/MMUL.2012.24.
- [15] Nintendo, “Wii”, Nintendo, 2018. Available: <https://www.nintendo.es/Wii/Wii-94559.html>.
- [16] S. M. N. Glegg, S. K. Tatla & L. Holsti, “The GestureTek virtual reality system in rehabilitation: a scoping review”, *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, vol. 9, n.º 2, pp. 89–111, 2014. doi: 10.3109/17483107.2013.799236.
- [17] M. Ma & K. Bechkoum, “Serious games for movement therapy after stroke”, in *Systems, Man and Cybernetics*, IEEE International Conference on, 2008, pp. 1872–1877. doi: 10.1109/ICSMC.2008.4811562.
- [18] A. “Skip” Rizzo & G. J. Kim, “A SWOT analysis of the field of virtual reality rehabilitation and therapy”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 14, n.º 2, pp. 119–146, 2005. doi: 10.1162/1054746053967094.
- [19] A. Gouaích et al., “Digital-pheromone based difficulty adaptation in post-stroke therapeutic games”, in *Proceedings of the 2nd ACM SIGHT symposium on International health informatics*, 2012, pp. 5–12. doi: 10.1145/2110363.2110368.
- [20] A. Heuser et al., “Telerehabilitation using the Rutgers Master II glove following carpal tunnel release surgery: proof-of-concept”, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 15, n.º 1, pp. 43–49, 2007. doi: 10.1109/TNSRE.2007.891393.
- [21] D. S. L. Ariza, “Autorización de difusión”.
- [22] M. S. Cameirão et al., “Neurorehabilitation using the virtual reality based Rehabilitation Gaming System: methodology, design, psychometrics, usability and validation”, *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 7, n.º 1, p. 48, 2010. doi: 10.1186/1743-0003-7-48.
- [23] B. A. Rabin et al., “Integrative rehabilitation of elderly stroke survivors: The design and evaluation of the BrightArm”, *Disabil. Rehabil. Assist. Technol.*, vol. 7, n.º 4, pp. 323–335, 2012. doi: 10.3109/17483107.2011.629329.
- [24] B. Rabin et al., “Integrative motor, emotive and cognitive therapy for elderly patients chronic post-stroke A feasibility study of the BrightArm™ rehabilitation system”, in *Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 2011 International Conference on, 2011, pp. 1–8. doi: 10.1109/ICVR.2011.5971852.
- [25] H.-M. Chen et al., “Test-retest reproducibility and smallest real difference of 5 hand function tests in patients with stroke,” *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 23, n.º 5, pp. 435–440, 2009. doi: 10.1177/1545968308331146.
- [26] V. F. Cervantes et al., “Serious games: Rehabilitation fuzzy grammar for exercise and therapy compliance”, in *Games Entertainment Media Conference (GEM)*, 2015 IEEE, 2015, pp. 1–8. doi: 10.1109/GEM.2015.7377254.

- [27] C. J. Ramirez & H. A. Zapata, “Minería de datos basada en lógica difusa para la interpretación de consultas vagas dependientes del contexto lingüístico”, *Dyna*, vol. 79, n.º 173, pp. 75–84, 2012.
- [28] M. H. Arango et al., “Virtual haptic training compared with a conventional exercise for the improvement of upper limb gross motor skills”, in *Virtual Rehabilitation (ICVR)*, 2017 International Conference on, 2017, pp. 1–7. doi: 10.1109/ICVR.2017.8007461.
- [29] L. Y. Torres Espinosa, et al., “Validación y estandarización de valores normales de la prueba de caja y cubos en niños”, *Rev. Salud Pública*, vol. 16, pp. 418–430, 2014. doi: 10.15446/rsap.v16n3.35597.
- [30] M. F. Mendes et al., “Teste de destreza manual da caixa e blocos em individuos normais e em pacientes com esclerose múltipla”, *Arq Neuropsiquiatr*, vol. 59, n.º 4, pp. 889–894, 2001.
- [31] N. Hocine et al., “Adaptation in serious games for upper-limb rehabilitation: an approach to improve training outcomes”, *User Model. User-adapt. Interact.*, vol. 25, n.º 1, pp. 65–98, 2015. doi: 10.1007/s11257-015-9154-6.