



Método de recomendación sobre el uso de la neuroplasticidad como motor de la rehabilitación del tejido conectivo

Method of recommendation on the use of neuroplasticity as a driver of connective tissue rehabilitation

Sandra Elizabeth Zambrano Castillo¹, Henry Sebastián Piña Zúñiga², Pablo Fernando Martínez Pupiales³ and Erika Daniela Robayo Guilcamaiga⁴

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador; sandrazc24@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador; henrysebastian2005@gmail.com

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador; pupialesmartinez123@gmail.com

⁴ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador; erikarobayo310@gmail.com

Resumen. El objetivo de esta investigación es desarrollar un método de recomendación sobre la neuroplasticidad como motor para la rehabilitación del tejido conectivo. La neuroplasticidad, con su capacidad de adaptación y recuperación en el cerebro y el sistema nervioso, se ha vuelto fundamental para entender los procesos de rehabilitación, especialmente en la reparación muscular. La actividad física se reconoce como un elemento crucial para la salud general y el bienestar cognitivo, lo que enfatiza la necesidad de estrategias efectivas en el ámbito de la rehabilitación. Esta investigación aborda diversos procedimientos y técnicas de rehabilitación motora, explorando la interrelación entre la plasticidad neuronal y los procesos de recuperación física. Mediante un enfoque multidisciplinario, se busca optimizar las estrategias de mejora y reducir los tiempos de recuperación en pacientes con problemas de movilidad. Un elemento innovador de este estudio es la implementación de un sistema de recomendación basado en Números Neutrosóficos de Valor Único, que permite emitir recomendaciones personalizadas. Estas recomendaciones están enfocadas en programas de rehabilitación que incorporan ejercicios diseñados para estimular la neuroplasticidad, adaptándose a las necesidades específicas de cada paciente. Al ofrecer un marco teórico y práctico que vincula la neuroplasticidad con la rehabilitación del tejido conectivo, esta investigación pretende establecer un método efectivo que no solo acelere la recuperación física, sino que también mejore la calidad de vida de los pacientes. Así, la sinergia entre actividad física, neuroplasticidad y un sistema de recomendación basado en Números Neutrosóficos se configura como una herramienta crucial en la rehabilitación moderna.

Palabras Claves: Método para la recomendación, números neutrosóficos, neuroplasticidad, tejido conectivo, rehabilitación motora

Abstract. The objective of this research is to develop a recommendation method on neuroplasticity as a driver for connective tissue rehabilitation. Neuroplasticity, with its capacity for adaptation and recovery in the brain and nervous system, has become fundamental to understanding rehabilitation processes, especially in muscle repair. Physical activity is recognized as a crucial element for general health and cognitive well-being, which emphasizes the need for effective strategies in the field of rehabilitation. This research addresses various motor rehabilitation procedures and techniques, exploring the interrelation between neuronal plasticity and physical recovery processes. Through a multidisciplinary approach, the aim is to optimize improvement strategies and reduce recovery times in patients with mobility problems. An innovative element of this study is the implementation of a recommendation system based on Single Value Neutrosophic Numbers, which allows for issuing personalized recommendations. These recommendations are focused on rehabilitation programs that incorporate exercises designed to stimulate neuroplasticity, adapting to the specific needs of each patient. By offering a theoretical and practical framework that links neuroplasticity with the rehabilitation of connective tissue, this research aims to establish an effective method that not only accelerates physical recovery, but also improves the quality of life of patients. Thus, the synergy between physical activity, neuroplasticity and a recommendation system based on Neutrosophic Numbers is configured as a crucial tool in modern rehabilitation.

Keywords: recommendation method, neutrosophic numbers, neuroplasticity, connective tissue, motor rehabilitation

1 Introducción

La neuroplasticidad, también conocida como plasticidad cerebral, se define como la capacidad del sistema nervioso para modificar su actividad en respuesta a estímulos tanto internos como externos. Este fenómeno es crucial, ya que permite la reconstrucción de la organización, funciones y conexiones neuronales tras lesiones traumáticas [1]. Sin embargo, la variabilidad en la neuroplasticidad puede tener tanto efectos positivos, facilitando la recuperación de diversos tejidos después de una lesión, como repercusiones negativas, que pueden dar lugar a consecuencias patológicas desagradables [2].

A lo largo de la historia, la neuroplasticidad ha sido objeto de debate en el contexto de la recuperación de lesiones, especialmente en la rehabilitación cerebral. Su impacto en la recuperación de tejidos, incluidos los conectivos, es significativo y justifica la necesidad de implementar enfoques multifacéticos que proporcionen una correcta estimulación neurofisiológica [3]. Para lograr esto, es fundamental ofrecer una variedad de terapias y tratamientos adecuados para cada paciente, optimizando así el proceso de recuperación.

El presente estudio se centra en un tema innovador que une la neuroplasticidad con tecnologías avanzadas, las cuales ofrecen una comprensión más amplia sobre la neurofisiología y el comportamiento del tejido conectivo tras un daño. La exploración de este campo investigativo es esencial para desarrollar tratamientos novedosos que favorezcan la rehabilitación y optimización de la recuperación del tejido conectivo en los pacientes [4].

La neuroplasticidad no solo se relaciona con aspectos fisiológicos, sino que también está influenciada por factores biológicos y sociales que pueden determinar el desarrollo humano [5]. Estos factores desempeñan un papel relevante en la rehabilitación de tejidos, contribuyendo al aumento de la funcionalidad del tejido muscular esquelético y fomentando el aprendizaje neurológico en los pacientes [6]. En este contexto, el objetivo de esta investigación es desarrollar un método de recomendación sobre la neuroplasticidad como motor de la rehabilitación del tejido conectivo, a través de la implementación de estrategias de rehabilitación física efectivas.

2 Preliminares

Las técnicas de recuperación del tejido conectivo fundamentadas en la neuroplasticidad representan un enfoque innovador y multifacético en la rehabilitación, buscando optimizar los procesos de recuperación mediante la estimulación activa del cerebro y del sistema nervioso. Estas estrategias no solo se enfocan en la recuperación física, sino que también integran aspectos neurofisiológicos esenciales que permiten una regeneración más efectiva de los tejidos comprometidos [7].

La terapia corporal es una de las técnicas destacadas en este ámbito. Su mecanismo de acción se basa en intervenciones físicas que fomentan la regeneración del tejido conectivo a través de la neuroplasticidad. Al estimular la reorganización cerebral mediante la utilización frecuente y rigurosa de los miembros afectados, la terapia corporal potencia la recuperación funcional y ayuda a restablecer la movilidad del paciente [6]. Este enfoque permite la conexión entre la actividad física y los cambios cerebrales, generando beneficios clave en la recuperación del tejido conectivo.

Otra técnica relevante es la estimulación cerebral no invasiva, que incluye herramientas como la estimulación magnética transcranial. Su mecanismo de acción implica intervenciones físicas y neurofisiológicas que buscan promover la regeneración del tejido conectado. Este método provoca transformaciones en la estructura cerebral mediante la regulación de los patrones de activación neuronal, lo que permite un enfoque más directo en la plasticidad del cerebro [4, 36]. Entre sus beneficios clave está la capacidad de modificar circuitos neuronales que pueden estar alterados tras una lesión, facilitando así una mejor recuperación del tejido afectado [8].

La terapia ocupacional también se posiciona como una estrategia esencial en la rehabilitación del tejido conectivo. Este enfoque integra técnicas físicas y neurofisiológicas con actividades funcionales diseñadas específicamente para optimizar las capacidades motoras y sensoriales del paciente. Su mecanismo de acción intensifica los procesos de adaptación cerebral, lo que acelera la trayectoria de restablecimiento funcional [2]. A través de la implementación de actividades que son relevantes para el día a día de los pacientes, esta técnica no solo mejora la funcionalidad física, sino que también favorece una mayor integración social y emocional del paciente [9].

Por último, la actividad física se presenta como una técnica integral que combina elementos físicos y neurofisiológicos. Su objetivo es potenciar el rendimiento cognitivo y facilitar la recuperación de la funcionalidad muscular esquelética. El mecanismo de acción de esta metodología se fundamenta en el desarrollo de conexiones neuronales que conectan las áreas del cerebro, responsables de la percepción sensorial y el control del movimiento. Los beneficios de esta técnica son múltiples, incluyendo la mejora en la coordinación, el equilibrio y la capacidad de respuesta del sistema motor, elementos críticos para una rehabilitación exitosa [3].

La capacidad del cerebro para reestructurarse y formar nuevas conexiones neuronales es un fenómeno complejo que está sujeto a diversas influencias. Entre los factores más determinantes en la neuroplasticidad se encuentran la edad del individuo, la estimulación sensorial, la actividad de las células satélite, y el uso de tecnologías avanzadas en el ámbito de la rehabilitación. Estos elementos interactúan de manera sinérgica, y su comprensión

permite optimizar los tratamientos en función de las características y necesidades específicas de cada paciente [4].

La edad es uno de los factores más críticos en la neuroplasticidad. Durante los primeros años de vida, el cerebro alcanza su máxima capacidad de plasticidad, lo que se traduce en una mayor habilidad para la recuperación y la formación de nuevas conexiones neuronales. Esta fase de desarrollo está marcada por un alto grado de adaptabilidad, donde las experiencias y aprendizajes tienen un impacto significativo en la estructura y función cerebral. A medida que las personas envejecen, la plasticidad cerebral tiende a disminuir, lo que puede dificultar la recuperación tras lesiones [7, 37]. Sin embargo, es importante destacar que, aunque la neuroplasticidad es más prominente en la infancia, el cerebro sigue siendo capaz de adaptarse y reorganizarse a lo largo de la vida, lo que resalta la importancia de aplicar intervenciones adecuadas en todas las etapas del desarrollo.

La estimulación sensorial también desempeña un papel fundamental en la promoción de la neuroplasticidad. Las conexiones neuronales son altamente receptivas a los factores ambientales y a los estímulos sensoriales. La interacción con el ambiente a través de los sentidos —como la vista, el oído, el tacto y el equilibrio— fomenta la reorganización neuronal, favoreciendo la creación de nuevas rutas de comunicación entre las células del cerebro. Así, una rica estimulación sensorial puede catalizar el proceso de neuroplasticidad, lo que se traduce en una mayor eficacia en la recuperación funcional.

Otro aspecto relevante son las células satélite, que son células madre presentes en los tejidos musculares y nerviosos. Estas células son cruciales para la reparación y regeneración de los tejidos, y su activación está relacionada con la plasticidad neuronal. Cuando se producen lesiones, las células satélite responden a las señales de daño y activan una serie de procesos biológicos que facilitan la recuperación del tejido conectivo y de las conexiones neuronales. De este modo, la interacción entre las células satélite y la neuroplasticidad es fundamental para mejorar los resultados en la rehabilitación [3, 36].

En este sentido, la incorporación de tecnología en el proceso de rehabilitación tiene un impacto significativo en la optimización de la neuroplasticidad [1, 38]. El uso de herramientas tecnológicas, como la realidad virtual, la estimulación magnética transcraneal y diversas aplicaciones de terapia asistida por tecnología, ha demostrado mejorar los resultados clínicos al facilitar la estimulación sensorial y la activación de circuitos neuronales específicos. Estos avances proporcionan oportunidades únicas para personalizar las intervenciones, adaptándolas a las necesidades individuales y potenciando la efectividad de los tratamientos rehabilitadores.

3 Materiales y métodos

A partir del análisis antes expuesto, es posible modelar el sistema de recomendación de la neuroplasticidad como motor de la rehabilitación del tejido conectivo, como un problema de toma de decisión multicriterio [10, 11]. Formalmente se representa como:

- Un conjunto de alternativas que representan los pacientes en rehabilitación física $A = \{A_1, \dots, A_n\}$, $n \geq 2$ que se encuentran caracterizados por:
- Un conjunto de criterios que influyen en recomendación de técnicas de recuperación del tejido conectivo fundamentadas en la neuroplasticidad $C = \{C_1, \dots, C_m\}$, $m \geq 2$;

Los problemas de toma de decisiones pueden ser clasificados según las variables que intervienen en el proceso. Se pueden clasificar mediante un ambiente monocriterio o multicriterio. Para un ambiente monocriterio existe una sola variable que determina el comportamiento sobre el procesamiento de las alternativas, por lo tanto existe una implicación directa. Se cumple la condición que $p \rightarrow q$, para todo valor que tome la variable objeto de estudio, el resultado implicará positiva o negativamente el valor del objetivo o alternativa [12-14].

Los operadores de agregación representan un método de inferencia en el que sus funciones matemáticas son utilizadas en los procesos de toma de decisiones [15], [16], [17], [39] y combinan valores (x, y) en un dominio D y devuelven un valor único.

Dentro de los principales operadores para la agregación de información se encuentra la media aritmética y media ponderada [12-14], tal como se define a continuación:

Definición 1. Un operador WA tiene asociado un vector de pesos V , con $v_i \in [0,1]$ y $\sum_1^n v_i = 1$, expresado de la siguiente forma:

$$WA(a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n v_i a_i \quad (1)$$

Donde v_i representa la importancia de la fuente a_i .

Un operador de agregación de información *Ordered Weighted Averaging*, (OWA), Media Ponderada Ordenada propuesto por [18], permite unificar los criterios clásicos de decisión de incertidumbre en una expresión [19].

3.1 Números Neutrosóficos de Valor Único

La neutrosofía consiste en la representación de la neutralidad, fue propuesta por Smarandache [20]. Representa

las bases para una serie de teorías matemáticas que generalizan las teorías clásicas y difusas tales como los conjuntos neutrosóficos y la lógica neutrosófica [21]. La definición original de valor de verdad en la lógica neutrosófica es mostrado a continuación [22]:

Sean $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1]\}$, una valuación neutrosófica es un mapeo de un grupo de fórmulas proporcionales a N , esto es que por cada sentencia p se tiene:

$$v(p) = (T, I, F) \tag{2}$$

Con el propósito facilitar la aplicación práctica a problema de toma de decisiones y de la ingeniería se realizó la propuesta de los conjuntos Neutrosóficos de Valor Único (SVN) [23] los cuales permiten el empleo de variables lingüísticas [24] lo que aumenta la interpretabilidad en los modelos de recomendación y el empleo de la indeterminación [25, 26].

Sea X un universo de discurso. Un SVN sobre X es un objeto de la forma.

$$A = \{x, u_A(x), r_A(x), v_A(x) : x \in X\} \tag{3}$$

donde $u_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$, $r_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ y $v_A(x) : X \rightarrow [0, 1]$ con $0 \leq u_A(x) + r_A(x) + v_A(x) \leq 3$ para todo $x \in X$. El intervalo $u_A(x)$, $r_A(x)$ y $v_A(x)$ denotan las membrecías a verdadero, indeterminado y falso de x en A , respectivamente. Por cuestiones de conveniencia un número SVN será expresado como $A = (a, b, c)$, donde $a, b, c \in [0, 1]$, $y + b + c \leq 3$

4 Método para la recomendación sobre el uso de la neuroplasticidad como motor de la rehabilitación del tejido conectivo

En la presente sección se describe el funcionamiento método de recomendación sobre el uso de la neuroplasticidad como motor de la rehabilitación del tejido conectivo, por medio de la rehabilitación física. Se presentan las características generales que facilitan la comprensión de la propuesta.

El método para la recomendación propuesto, está diseñado para gestionar el flujo de trabajo del proceso de inferencia en general, realiza tres subprocesos: entrada, procesamiento y salida de información. La Figura 1 muestra un esquema que ilustra el funcionamiento general del método.

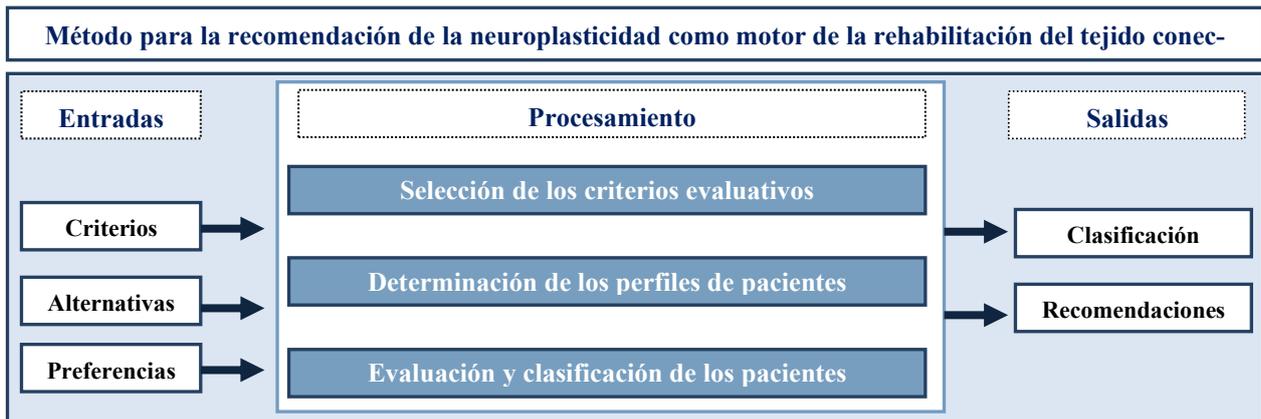


Figura 1: Esquema general del funcionamiento del método.

4.1 Descripción de las etapas del método

El método de recomendación sobre el uso de la neuroplasticidad como motor de la rehabilitación del tejido conectivo se estructura en un flujo de trabajo organizado en tres subprocesos: entrada, procesamiento y salida de información. En la fase de entrada, se recogen datos esenciales que incluyen criterios, alternativas y preferencias de los pacientes. Los criterios abarcan los factores que influyen la selección de las técnicas de recuperación, mientras que las alternativas son diversas metodologías de rehabilitación física propuestas para los pacientes.

La fase de procesamiento implica la selección de los criterios evaluativos más relevantes, la determinación de los perfiles de los pacientes, y la evaluación y clasificación de cada caso según las características y necesidades recogidas.

En la fase de salida, el sistema genera una clasificación de los pacientes y proporciona recomendaciones específicas sobre las técnicas de rehabilitación más adecuadas, basadas en su perfil y en los principios de neuroplasticidad. Este enfoque permite personalizar la rehabilitación, optimizando así el proceso de recuperación del tejido conectivo para cada individuo.

4.2 Flujo de trabajo del método

El flujo de trabajo describe la interacción de las diferentes entidades que intervienen en el método, garantiza la representación de términos lingüísticos y la indeterminación mediante números SVN. El flujo de trabajo está compuesto por cuatro actividades (identificación de los criterios, determinación del perfil de los pacientes en rehabilitación física, evaluación y clasificación, recomendaciones) que soportan el proceso de toma de decisiones del método [27]. [28, 36]. A continuación se describen las diferentes actividades:

Identificación de los criterios: los criterios son el conjunto de características que describe los pacientes en rehabilitación física, representan la base de indicadores evaluativos sobre el cual se conforma el perfil de los pacientes C_i .

Determinación del perfil de los pacientes: el perfil de los pacientes se obtiene de forma directa mediante criterios de expertos.

$$F_{a_j} = \{v_1^j, \dots, v_k^j, \dots, v_l^j\}, j = 1, \dots, n \tag{4}$$

Las valoraciones de las características de los pacientes a_j , serán expresadas utilizando la escala lingüística S , $v_k^j \in S$ donde $S = \{s_1, \dots, s_g\}$ es el conjunto de términos lingüísticos definidos para evaluar la característica c_k utilizando los números SVN. La descripción de las características está asociada al conjunto de pacientes que representan las alternativas del proceso[29, 30, 40].

$$A = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_n\} \tag{5}$$

Evaluación y clasificación: para la evaluación y clasificación de los pacientes mediante números SVN [31, 32], se tiene:

Sea

$A^* = (A_1^*, A_2^*, \dots, A_n^*)$ sea un vector de números SVN,

tal que:

$$A_j^* = (a_j^*, b_j^*, c_j^*),$$

$j=(1,2, \dots, n)$,

$B_i = (B_{i1}, B_{i2}, \dots, B_{im})$ ($i = 1,2, \dots, m$), sean m vectores de n SVN números.

tal que y $B_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$ ($i = 1,2, \dots, m$), ($j = 1,2, \dots, n$) entonces la distancia euclidiana es definida como.

Las B_i y A^* resulta [32]:

$$d_i = \left(\frac{1}{3} \sum_{j=1}^n \left\{ (|a_{ij} - a_j^*|)^2 + (|b_{ij} - b_j^*|)^2 + (|c_{ij} - c_j^*|)^2 \right\} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{6}$$

($i = 1,2, \dots, m$)

A partir de esta distancia euclidiana se puede definir una medida de similitud [33], [24]. En la medida en que la alternativa se A_i se encuentra más semejante perfil del paciente (s_i) mejor será esta, permitiendo establecer un orden entre alternativas. La obtención de las preferencias de las alternativas se hace a partir de la evaluación que se obtiene del comportamiento de los indicadores donde:

$$A_i [F_{a_j}] = [Pre_y] \tag{10}$$

Para cada alternativa A que posee un perfil F_{a_j} se le hace corresponder un conjunto de preferencias Pre_y que una sobre el comportamiento del paciente, donde:

$[Pre_y]$: es el arreglo resultante como preferencia de las alternativas respecto a un conjunto de indicadores $Pre \in \mathbb{N}, [0,1]$. El valor de Pre_y .

Para el proceso de inferencia sobre la recomendación de técnicas de recuperación del tejido conectivo fundamentadas en la neuroplasticidad, se parte de:

$$A_i = [Pre_y, W_z] \tag{11}$$

Donde:

Pre_y : representa el conjunto de preferencia sobre A_i .

W_z : representa el vector de peso referido por z .

El proceso de evaluación se realiza mediante el método multicriterio WA. El conjunto de recomendaciones están asociadas al resultado obtenido en la evaluación a partir del cual es calculada la similitud entre el perfil de

los pacientes y es ordenada de acuerdo a la similitud obtenida. La mejor evaluación será aquella que mejor satisfaga las necesidades del perfil con mayor similitud.

5 Resultados y discusión

La presente sección describe un ejemplo para demostrar la aplicabilidad del método para la recomendación sobre el uso de la neuroplasticidad como motor de la rehabilitación del tejido conectivo, por medio de la rehabilitación física. El ejemplo presenta los elementos fundamentales sintetizados para facilitar la comprensión de los lectores. El método fue implementado para la recomendación de técnicas de recuperación del tejido conectivo fundamentadas en la neuroplasticidad, para pacientes en rehabilitación física. [41]

Para aplicar del método multicriterio WA, se estructuran los criterios evaluativos del problema y las alternativas objeto de estudio. A partir del comportamiento de los indicadores se obtienen las preferencias para evaluar las alternativas y realizar el proceso de clasificación. El objetivo es evaluar las preferencias sobre los indicadores que representa la recomendación de técnicas de recuperación del tejido conectivo fundamentadas en la neuroplasticidad, los criterios evaluativos son representados por los principales indicadores de calidad.

Los expertos expresan la valoración del cumplimiento de los criterios mediante la valoración neutrosófica. Los atributos se formulan en la escala lingüística presentada en la Tabla 1, sustituyendo sus términos lingüísticos equivalentes.

Tabla 1: Términos lingüísticos empleados [32].

Término lingüístico	Números SVN
Extremadamente buena (EB)	(1,0,0)
Muy muy buena (MMB)	(0.9, 0.1, 0.1)
Muy buena (MB)	(0.8,0.15,0.20)
Buena (B)	(0.70,0.25,0.30)
Medianamente buena (MDB)	(0.60,0.35,0.40)
Media (M)	(0.50,0.50,0.50)
Medianamente mala (MDM)	(0.40,0.65,0.60)
Mala (MA)	(0.30,0.75,0.70)
Muy mala (MM)	(0.20,0.85,0.80)
Muy muy mala (MMM)	(0.10,0.90,0.90)
Extremadamente mala (EM)	(0,1,1)

El problema es modelado mediante el conjunto de pacientes en rehabilitación física, que representan las alternativas tal como se refiere a continuación:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$$

Que son descritos por el conjunto de atributos que representan los criterios evaluativos de las técnicas de recuperación del tejido conectivo:

$$C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7\}$$

El conjunto de criterios evaluativos de las técnicas de recuperación del tejido conectivo, definidos para este caso, se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Criterios evaluativos de las técnicas de recuperación del tejido conectivo.

Id	Criterio	Descripción
c_1	Efectividad en la mejora funcional	Medida en qué la técnica recomendada contribuye a la recuperación de la función motora y sensorial específica del paciente, incluyendo la amplitud de movimiento y la fuerza muscular.
c_2	Adaptabilidad individual	Capacidad de la técnica para personalizarse según las características únicas del paciente, como su edad, gravedad de la lesión, y comorbilidades.
c_3	Estimulación neurológica	Potencial de la técnica para inducir la neuroplasticidad a través de la estimulación adecuada de circuitos neuronales, promoviendo la formación de nuevas conexiones sinápticas.
c_4	Consideraciones psicológicas y emocionales	Impacto emocional y psicológico que la técnica puede tener en el paciente, incluyendo su motivación, nivel de ansiedad y disposición para participar en el proceso de rehabilitación.

Id	Criterio	Descripción
c ₅	Viabilidad y accesibilidad	Disponibilidad, accesibilidad y facilidad de implementación de la técnica en el entorno del paciente, así como el costo asociado.
c ₆	Integración multidisciplinaria	Capacidad de la técnica para ser parte de un enfoque multidisciplinario que involucre a fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales y otros profesionales de la salud, garantizando una atención integral.
c ₇	Evidencia clínica	Evidencia que respalda la técnica como eficaz para la rehabilitación de tejidos conectivos, incluyendo estudios clínicos, revisiones a historias clínicas y ensayos controlados aleatorizados que validen su uso.

La Tabla 3 muestra la vista de datos utilizadas para el presente caso de estudio con 4 pacientes.

Tabla 3: Vista de datos de los pacientes en rehabilitación física.

	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄	c ₅	c ₆	c ₇
a ₁	B	B	B	B	B	B	B
a ₂	B	B	M	MMB	MMB	M	MDB
a ₃	B	B	M	M	M	M	MMB
a ₄	M	M	M	MB	MB	MD	B

Si un miembro del personal médico u_e , desea recibir las recomendaciones del modelo, deberá proveer información al mismo expresando sus preferencias. En este caso:

$$P_e = \{B, B, B, M, M, B, M, MMB\}$$

El siguiente paso del ejemplo, es el cálculo de la similitud entre el perfil de pacientes y los almacenados en la base de datos.

Tabla 4: Similitud entre los productos y el perfil de pacientes.

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄
	0.60	0.80	0.92	0.30

Para el proceso de generación de recomendaciones, se recomiendan aquellos que más se acerquen al perfil del paciente, posteriormente se realiza un ordenamiento de los perfiles.

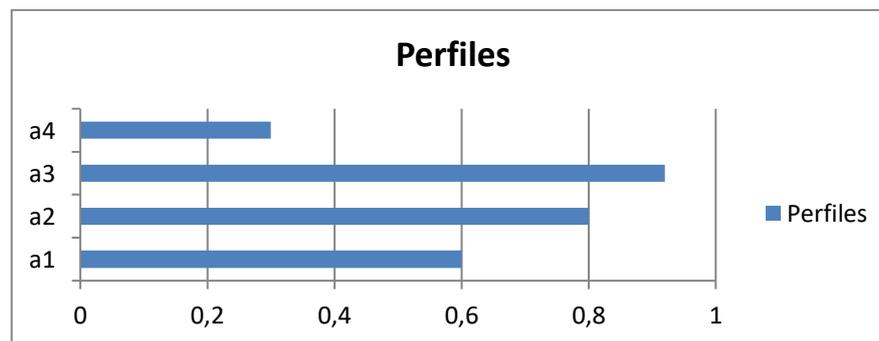


Figura 2: Ordenamiento de los perfiles.

A partir de esta comparación, los perfiles de pacientes resultantes son expresados mediante el siguiente orden de prioridad.

$$\{a_3, a_2, a_1, a_4\}$$

El modelo propuesto recomendará los dos perfiles más cercanos. Las recomendaciones están formadas por:

$$a_3, a_2$$

A partir del resultado, el perfil que mejor evaluación posee para representar la propuesta de evaluación óptima es a_3 .

La utilidad de las recomendaciones generadas a partir del método propuesto radica en su capacidad para personalizar y optimizar el proceso de rehabilitación física, alineando las técnicas seleccionadas con las características

y necesidades individuales de cada paciente. Al evaluar criterios clave como la efectividad funcional, la adaptabilidad y la estimulación neurológica, el método permite identificar la técnica que mejor promueve la neuroplasticidad y la recuperación del tejido conectivo. Esto no sólo mejora los resultados clínicos, sino que también potencia el compromiso del paciente con el tratamiento, al proporcionar opciones que consideran sus preferencias y contexto emocional.

6 Discusiones

Las técnicas de recuperación del tejido conectivo fundamentadas en la neuroplasticidad ofrecen un enfoque holístico y colaborativo en el proceso de rehabilitación. A través de la combinación de la terapia corporal, la estimulación cerebral no invasiva, la terapia ocupacional y la actividad física, se logra una sinergia que potencia la capacidad de recuperación del paciente, optimizando tanto su funcionalidad física como su bienestar emocional [7, 42]. Este enfoque integral subraya la importancia de considerar tanto la estructura física como el contexto neurofisiológico en el proceso de rehabilitación, aprovechando la neuroplasticidad como pilar fundamental para la recuperación [34, 36].

La neuroplasticidad es un fenómeno influenciado por una serie de factores interrelacionados. La edad, la estimulación sensorial, la actividad de las células satélite y el uso de tecnología son elementos que, al ser comprendidos y aplicados estratégicamente, pueden mejorar de manera significativa el proceso de rehabilitación del tejido conectivo. La consideración de estos factores permite a los profesionales de la salud diseñar intervenciones más efectivas y personalizadas, promoviendo así una recuperación óptima y una mejor calidad de vida para los pacientes.

La neuroplasticidad se presenta como una herramienta fundamental en el diseño de programas de intervención en diversos grupos poblacionales. Aproximar las aplicaciones de estos conceptos a diferentes segmentos permite optimizar los procesos de aprendizaje y recuperación, adaptando estrategias a las necesidades específicas de cada grupo. A continuación, se analizan las aplicaciones de la neuroplasticidad en niños, adultos mayores, pacientes con lesiones y estudiantes, resaltando la importancia de un enfoque personalizado [8, 37].

En el caso de niños de 4 a 5 años, los programas de neuroplasticidad se centran en mejorar el desarrollo cognitivo y motor a través de una colaboración interdisciplinaria entre médicos, educadores y especialistas en neurociencia. En esta etapa crítica de desarrollo, el cerebro está particularmente receptivo a nuevas experiencias y aprendizajes, lo que se traduce en una capacidad significativa para formar conexiones neuronales. Aplicar principios de neuroplasticidad en este contexto implica diseñar actividades lúdicas y estudios que estimulen tanto las habilidades motoras como las capacidades cognitivas, generando un impacto positivo en el desarrollo integral de los niños. [43]

Para los adultos mayores, se están implementando tecnologías innovadoras que estimulan y mejoran la neuroplasticidad, con un enfoque especialmente fuerte en la investigación europea. Estas tecnologías pueden incluir ejercicios cognitivos y plataformas virtuales diseñadas para mantener y promover la flexibilidad cognitiva y la salud cerebral. A medida que la edad avanza, la capacidad de neuroplasticidad tiende a decrecer, pero no desaparece. Las intervenciones tecnológicas pueden ralentizar este proceso, permitir la prolongación de la independencia funcional y mejorar la calidad de vida al mantener activas las conexiones neuronales.

En el contexto de pacientes con lesiones, el tratamiento basado en neuroplasticidad juega un papel crucial en la restauración de las funciones sensorial y motora del tejido conectivo. Las intervenciones físicas, acompañadas de estimulación cognitiva y técnicas de rehabilitación específica, favorecen la reorganización de circuitos neuronales que pueden haberse visto comprometidos tras un daño. A través de programas adaptativos que integran ejercicios de movimiento y actividades cognitivas, estos pacientes pueden experimentar mejoras significativas en su funcionalidad y calidad de vida.

En el ámbito de los estudiantes, se está empleando un enfoque neurocientífico para mejorar el aprendizaje experiencial y la creatividad, particularmente en el campo médico. Las investigaciones sugieren que el aprendizaje activo y la incorporación de métodos basados en neuroplasticidad pueden potenciar la retención de información y la aplicación práctica de los conocimientos. Programas que favorecen la experimentación, la resolución de problemas en grupo y la atención plena no solo mejoran el rendimiento académico, sino que también fomentan un desarrollo cognitivo flexible y creativo que resulta esencial en la formación de futuros profesionales.

En los estudios realizados anteriormente el Ecuador ha llevado un protagonismo en las prácticas de neuroplasticidad, centrándose específicamente en la neuroplasticidad de los niños de 4-5 años llevando una fuerte colaboración académica y médica a nivel global [9]. En Loja la neuroplasticidad ha sido contribuida con herramientas tecnológicas en la aplicación de estimulación de adultos mayores, este estudio aplicativo ha sido contribuyente en países europeos, y aportando un conocimiento mucho más sólido en este campo de la medicina e investigación [35].

Las aplicaciones de la neuroplasticidad se están integrando de manera personalizada en diversos grupos poblacionales, reflejando la versatilidad de este fenómeno en contextos tan variados como el desarrollo infantil, la

atención a adultos mayores, la rehabilitación de pacientes lesionados y la educación en estudiantes. La comprensión y la implementación adecuada de estos principios no solo potencian los procesos de aprendizaje y adaptación, sino que también promueven un enfoque centrado en el bienestar integral de las personas a lo largo de sus diferentes etapas de vida. Este enfoque multidimensional establece las bases para intervenciones más efectivas y significativas en los múltiples campos de la salud y la educación.

7 Conclusión

La investigación realizada sobre el uso de la neuroplasticidad como motor de rehabilitación del tejido conectivo reveló la importancia de un enfoque personalizado en los tratamientos de rehabilitación física. Se establecieron criterios fundamentales para evaluar las distintas técnicas de recuperación, lo que permitió recomendar las más adecuadas según las características individuales de cada paciente. Al integrar principios de neuroplasticidad en el proceso de rehabilitación, se evidenció una mejora significativa en la funcionalidad y en la satisfacción del paciente. Además, se destacó la necesidad de un enfoque multidisciplinario que incluya la colaboración de diversos profesionales de la salud para optimizar los resultados terapéuticos. Las recomendaciones generadas a partir del método neutrosófico propuesto, no solo contribuyeron al éxito de los tratamientos, sino que también promovieron un compromiso más activo por parte de los pacientes en su proceso de recuperación, lo que confirmó la relevancia de personalizar las intervenciones para alcanzar resultados óptimos.

Referencias

- [1] S. Dey, A. Arya, A. J. Raut, S. Katta, and P. Sharma, "Exploring the Role of Neuroplasticity in Stroke Rehabilitation: Mechanisms, Interventions and Clinical Implications," 2024.
- [2] P. Clos, R. Lepers, and Y. M. Garnier, "Locomotor activities as a way of inducing neuroplasticity: insights from conventional approaches and perspectives on eccentric exercises," *European Journal of Applied Physiology*, vol. 121, no. 3, pp. 697-706, 2021.
- [3] C. Wang, "The role of neuromodulation to drive neural plasticity in stroke recovery: a narrative review," *Brain Network and Modulation*, vol. 1, no. 1, pp. 2-8, 2022.
- [4] E. Zimmerman, G. Carnaby, C. L. Lazarus, and G. A. Malandraki, "Motor learning, neuroplasticity, and strength and skill training: moving from compensation to retraining in behavioral management of dysphagia," *American Journal of Speech-Language Pathology*, vol. 29, no. 2S, pp. 1065-1077, 2020.
- [5] A. M. Joshua, "Neuroplasticity," *Physiotherapy for adult neurological conditions*, pp. 1-30: Springer, 2022.
- [6] E. Dzyubenko, and D. M. Hermann, "Role of glia and extracellular matrix in controlling neuroplasticity in the central nervous system." pp. 377-387.
- [7] M. S. de Sousa Fernandes, T. F. Ordônio, G. C. J. Santos, L. E. R. Santos, C. T. Calazans, D. A. Gomes, and T. M. Santos, "Effects of physical exercise on neuroplasticity and brain function: a systematic review in human and animal studies," *Neural plasticity*, vol. 2020, no. 1, pp. 8856621, 2020.
- [8] H. Johansson, M. Hagströmer, W. J. Grooten, and E. Franzén, "Exercise - induced neuroplasticity in Parkinson's disease: A metanalysis of the literature," *Neural Plasticity*, vol. 2020, no. 1, pp. 8961493, 2020.
- [9] J. A. Mero Mejillón, and R. J. Sánchez Borbor, "La neuroplasticidad en el proceso de aprendizaje en niños de 4 a 5 años," *La Libertad*, Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2024, 2024.
- [10] A. Grajales Quintero, E. Serrano Moya, and C. Hahan Von, "Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación," *Luna Azul*, vol. 36, no. 1, pp. 285-306, 2013.
- [11] C. Bouza. "Métodos cuantitativos para la toma de decisiones en contabilidad, administración, economía," https://www.researchgate.net/publication/303551295_METODOS_CUANTITATIVOS_PARA_LA_TOMA_DE_DECISIONES_EN_CONTABILIDAD_ADMINISTRACION_ECONOMIA.
- [12] J. E. Ricardo, M. Y. L. Vázquez, A. J. P. Palacios, and Y. E. A. Ojeda, "Inteligencia artificial y propiedad intelectual," *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. S3, pp. 362-368, 2021.
- [13] I. A. González, A. J. R. Fernández, and J. E. Ricardo, "Violación del derecho a la salud: caso Albán Cornejo Vs Ecuador," *Universidad Y Sociedad*, vol. 13, no. S2, pp. 60-65, 2021.
- [14] G. Á. Gómez, J. V. Moya, J. E. Ricardo, and C. V. Sánchez, "La formación continua de los docentes de la educación superior como sustento del modelo pedagógico," *Revista Conrado*, vol. 17, no. S1, pp. 431-439, 2021.
- [15] F. Smarandache, "Neutrosfia y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [16] I. Grau, and R. Grau, "Aplicación de sistemas neuroborrosos a problemas de resistencia antiviral del VIH," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 6, no. 2, 2012.
- [17] K. Pérez, "Modelo de proceso de logro de consenso en mapas cognitivos difusos para la toma de decisiones en grupo," Tesis Doctoral, Facultad 4, Universidad de las Ciencias Informáticas, 2014.
- [18] R. Yager, "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 18, no. 1, pp. 183-190, 1988.
- [19] D. Filev, and R. Yager, "On the issue of obtaining OWA operator weights," *Fuzzy sets and systems*, vol. 94 no. 2, pp. 157-169, 1998.

- [20] F. Smarandache, "A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic," *Philosophy*, pp. 1-141, 1999.
- [21] F. Smarandache, *A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability*: Infinite Study, 2005.
- [22] H. Wang, F. Smarandache, R. Sunderraman, and Y. Q. Zhang, *Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing: Theory and Applications in Computing*: Hexis, 2005.
- [23] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang, and R. Sunderraman, "Single valued neutrosophic sets," *Review of the Air Force Academy*, no. 1, pp. 10, 2010.
- [24] M. Y. L. Vázquez, K. Y. P. Teurel, A. F. Estrada, and J. G. González, "Modelo para el análisis de escenarios basados en mapas cognitivos difusos: estudio de caso en software biomédico," *Ingeniería y Universidad: Engineering for Development*, vol. 17, no. 2, pp. 375-390, 2013.
- [25] S. D. Álvarez Gómez, A. J. Romero Fernández, J. Estupiñán Ricardo, and D. V. Ponce Ruiz, "Selección del docente tutor basado en la calidad de la docencia en metodología de la investigación," *Conrado*, vol. 17, no. 80, pp. 88-94, 2021.
- [26] J. E. Ricardo, V. M. V. Rosado, J. P. Fernández, and S. M. Martínez, "Importancia de la investigación jurídica para la formación de los profesionales del Derecho en Ecuador," *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2020.
- [27] O. Mar, I. Santana, YunweiChen, and G. Jorge, "Model for decision-making on access control to remote laboratory practices based on fuzzy cognitive maps," *Revista Investigación Operacional*, vol. 45, no. 3, pp. 369-380, 2024.
- [28] O. Mar Cornelio, Y. Zulueta Véliz, and M. Leyva Vázquez, "Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la evaluación del desempeño en la Universidad de las Ciencias Informáticas," 2014.
- [29] J. E. Ricardo, J. J. D. Menéndez, and R. L. M. Manzano, "Integración universitaria, reto actual en el siglo XXI," *Revista Conrado*, vol. 16, no. S 1, pp. 51-58, 2020.
- [30] J. E. Ricardo, N. B. Hernández, R. J. T. Vargas, A. V. T. Suintaxi, and F. N. O. Castro, "La perspectiva ambiental en el desarrollo local," *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2017.
- [31] J. Ye, "Single-valued neutrosophic minimum spanning tree and its clustering method," *Journal of intelligent Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 311-324, 2014.
- [32] R. Sahin, and M. Yigider, "A Multi-criteria neutrosophic group decision making metod based TOPSIS for supplier selection," *arXiv preprint arXiv:1412.5077*, 2014.
- [33] K. Pérez-Teruel, M. Leyva-Vázquez, and V. Estrada-Sentí, "Mental models consensus process using fuzzy cognitive maps and computing with words," *Ingeniería y Universidad*, vol. 19, no. 1, pp. 173-188, 2015.
- [34] B. P. Johnson, and L. G. Cohen, "Applied strategies of neuroplasticity," *Handbook of clinical neurology*, vol. 196, pp. 599-609, 2023.
- [35] E. V. Loaiza-Lima, and A. V. Velásquez-Benavides, "Tercera edad y nuevas tecnologías—Caso de estudio: Loja Ecuador," *Sistemas, cibernética e informática*, vol. 17, no. 2, pp. 29-35.
- [36] Macas-Acosta, G., Márquez-Sánchez, F., Vergara-Romero, A., & Ricardo, J. E. "Analyzing the Income-Education Nexus in Ecuador: A Neutrosophic Statistical Approach". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 66, pp 196-203, 2024
- [37] Ricardo, J. E., Vázquez, M. Y. L., Hernández, N. B., & Peña, K. A. "El papel del docente en el proceso de titulación de estudiantes de Derecho: un enfoque cuantitativo y cualitativo en UNIANDES Babahoyo". *Revista Conrado*, vol. 19 núm. S2, pp 338-345, 2023.
- [38] Vázquez, Á. B. M., Carpio, D. M. R., Faytong, F. A. B., & Lara, A. R. "Evaluación de la satisfacción de los estudiantes en los entornos virtuales de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes". *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2024.
- [39] Idrovo Sánchez, H. R. "La violación del derecho a un medio ambiente sano de los pueblos ancestrales como consecuencia de la no aplicación de la consulta previa en el año 2020 en la provincia de Chimborazo previo al otorgamiento de áreas mineras" (Master's thesis), 2022.
- [40] Leica Yansapanta, L. S. "Los derechos constitucionales de los niños, niñas y adolescentes frente a la ley humanitaria año 2021". (Master's thesis), 2022.
- [41] Pazmiño Guevara, V. M. "La vulneración del derecho constitucional al trabajo a raíz de la precarización laboral ocasionada por el covid-19" (Master's thesis), 2022.
- [42] Rodríguez Mena, M. B. "La reparación integral como mecanismo adecuado para garantizar la protección de la naturaleza como sujeto de derechos, en Latacunga 2020". (Master's thesis), 2022.
- [43] Muñoz Razo, K. S. "El teletrabajo cómo una herramienta eficaz de protección a los derechos de las mujeres embarazadas como grupo de atención prioritaria en el sector público en Latacunga 2020". (Master's thesis), 2022.

Recibido: 4 de octubre de 2024. Aceptada: 3 de noviembre de 2024