



# Sistema de recomendaciones para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave

## System of recommendations for Pupillometry classification in severe head injury.

Piedad Elizabeth Acurio Padilla<sup>1</sup>, Melany Yamilex Reascos Chalacán<sup>2</sup>, and Mauricio Fernando Enríquez Grijalva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. [ua.piedadacurio@uniandes.edu.ec](mailto:ua.piedadacurio@uniandes.edu.ec)

<sup>2</sup> Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. [melanyrc97@uniandes.edu.ec](mailto:melanyrc97@uniandes.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. [ma.mauriciofeg83@uniandes.edu.ec](mailto:ma.mauriciofeg83@uniandes.edu.ec)

**Resumen.** El traumatismo craneoencefálico es una lesión compleja que puede generar complicaciones y secuelas neurológicas severas, incluso mortales. Por esta razón, la evaluación multimodal de los pacientes con TCE es esencial para garantizar un tratamiento oportuno y personalizado. En el contexto del traumatismo craneoencefálico grave, la pupilometría es una técnica de medición del tamaño y la reactividad pupilar, constituye una herramienta adicional para su manejo, ya que permite monitorizar el estado neurológico y predice su deterioro. Es así que el objetivo de este trabajo fue desarrollar un Sistema de recomendaciones para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave.

**Palabras Claves:** números neutrosóficos, clasificación de Pupilometría, traumatismo craneoencefálico grave.

**Abstract.** Traumatic brain injury is a complex injury that can cause severe, even fatal, neurological complications and sequelae. For this reason, multimodal assessment of patients with TBI is essential to ensure timely and personalized treatment. In the context of severe head trauma, pupillometry is a technique for measuring pupil size and reactivity, and is an additional tool for management, as it allows monitoring the neurological status and predicts its deterioration. Thus, the objective of this work was to develop a system of recommendations for the classification of pupillometry in severe head trauma.

**Keywords:** neutrosophic numbers, pupillary classification, severe head trauma.

### 1 Introducción

El traumatismo craneoencefálico (TCE) grave se sitúa como una de las principales causas de muerte y discapacidad entre jóvenes y adultos en todo el mundo, siendo en su mayoría prevenibles. Este tipo de lesión implica un impacto significativo en el cerebro, provocando lesiones primarias, secundarias, terciarias y cuaternarias, que pueden ser tanto focales como difusas. La rápida evaluación y el tratamiento de estos pacientes son fundamentales para mejorar sus pronósticos.

En años recientes, la pupilometría ha cobrado importancia como herramienta diagnóstica y pronóstica en el manejo del traumatismo craneoencefálico, impulsada por avances tecnológicos y una mayor comprensión de la fisiología neurológica. Las pupilas actúan como un reflejo del estado neurológico del paciente; su respuesta a la luz es controlada por el sistema nervioso autónomo y puede indicar la integridad y funcionalidad de diversas estructuras cerebrales [1]. En el contexto del TCE, los cambios en el tamaño y la reactividad pupilar pueden señalar un aumento de la presión intracraneal, daño en los nervios craneales o una disfunción cerebral generalizada.

Históricamente, el uso de la evaluación pupilar para el estado neurológico se remonta a tiempos de Hipócrates, quien observó alteraciones en el tamaño de las pupilas en lesionados. Sin embargo, fue en el siglo XIX cuando se comenzaron a desarrollar métodos sistemáticos para medir y cuantificar el tamaño pupilar. Adolf von Graefe, en 1875, introdujo un método para medir el tamaño de las pupilas con una regla, y en 1879, Carl Wernicke presentó

el primer pupilómetro, que utilizaba una lupa y escala para mediciones [2].

En el siglo XVII, el médico francés Jean Fernel describió la relación entre el tamaño pupilar y el nivel de conciencia, aunque no fue hasta el siglo XIX que se adoptó el uso sistemático de la pupilometría en el TCE. Durante el siglo XX, se adoptaron instrumentos más avanzados, incluyendo pupilómetros mecánicos y ópticos, y más tarde, en la década de 1950, se introdujeron los pupilómetros electrónicos que usaban células fotoeléctricas. En 1958, Lowenstein y Loewenfeld documentaron el uso de cámaras infrarrojas para obtener imágenes de las pupilas, lo que abrió nuevas posibilidades para investigaciones farmacológicas y fisiológicas [3,41].

La década de 1970 trajo consigo la pupilometría computarizada, que utilizaba computadoras para analizar imágenes digitales de las pupilas, permitiendo mediciones más precisas. El TCE grave se ha convertido en una epidemia silenciosa en la actualidad, afectando especialmente a hombres jóvenes en Latinoamérica, donde la falta de datos oficiales confiables complica la identificación del problema. La mortalidad en países en desarrollo es notablemente mayor que en naciones desarrolladas, y la prevalencia de TCE continúa en aumento.

Desde el punto de vista fisiológico, la pupila es el orificio del iris que regula el ingreso de luz a la retina, y su tamaño es controlado por los músculos lisos del iris. El músculo dilatador, inervado por el sistema simpático, y el esfínter, inervado por el sistema parasimpático, determinan su diámetro, que puede variar de 1.5 a 9 mm, siendo aproximadamente 3 mm en condiciones de luz normales. El reflejo pupilar depende de la integridad del arco reflejo que transita por el tronco encefálico, lo que hace que la pupilometría sea vital para evaluar su función [4,42].

En casos de TCE grave, el aumento de la presión intracraneal y la presencia de una lesión supratentorial pueden inducir la herniación del lóbulo temporal, lo que provoca compresión del tallo cerebral y puede comprometer el tercer par craneal. La evaluación pupilar se convierte entonces en un componente esencial del examen físico en estos pacientes, ya que una pupila dilatada o sin reacción puede indicar un serio compromiso neurológico.

La relevancia de la pupilometría en situaciones de traumatismo craneoencefálico grave es indiscutible, pues una evaluación rápida y precisa puede influir significativamente en el pronóstico del paciente [5]. En regiones como Latinoamérica, donde muchos jóvenes son víctimas de accidentes y violencia, la pupilometría se establece como una herramienta crucial para optimizar los resultados clínicos y reducir la morbilidad y mortalidad asociadas a estas lesiones.

## 1.1 Preliminares

La evaluación neurológica juega un papel crucial en la valoración y seguimiento de pacientes neurocríticos, permitiendo determinar su mejoría o deterioro clínico. En este contexto, la pupilometría se utiliza como una medida indirecta para evaluar la condición cerebral y, a su vez, pronosticar la supervivencia en pacientes con traumatismo craneoencefálico grave [6].

La pupilometría se enfoca en analizar la respuesta pupilar a la luz, conocida como reflejo fotomotor. En condiciones normales, las pupilas se contraen ante la luz y se dilatan en la oscuridad. Sin embargo, en pacientes con TCE, cualquier alteración en este reflejo puede ser indicativa de lesiones intracraneales y compresión de nervios craneales, especialmente el nervio oculomotor (III par craneal).

### **Tipos de pupilometría:**

**Pupilometría Manual:** Tradicionalmente, los médicos realizan esta evaluación manualmente con una linterna, observando el tamaño y la reactividad de las pupilas. Este método es simple y rápido, y el examen estándar incluye la evaluación del tamaño, forma, simetría de las pupilas y el reflejo pupilar a la luz (PLR). Este último es un predictor importante del resultado y la supervivencia tras una lesión cerebral traumática. Además, se ha encontrado que la forma de la pupila puede ser significativa en diversas afecciones patológicas, asociándose a resultados neurológicos adversos en casos de pupilas ovaladas o en forma de balón de fútbol. Sin embargo, la evaluación manual puede ser inconsistente y propensa a errores debido a variaciones en la intensidad de la luz, tiempo de exposición y habilidades de evaluación de los examinadores, lo que puede hacer que las descripciones sean subjetivas e imprecisas [2].

**Pupilometría Automática:** Considerando el aumento de morbilidad y mortalidad por lesiones cerebrales traumáticas, la investigación activa sobre su evaluación y tratamiento es crucial. En las últimas dos décadas, se ha demostrado que la pupilometría cuantitativa es útil para la evaluación inmediata y el tratamiento continuo de estos pacientes. El avance tecnológico ha permitido el desarrollo de dispositivos automáticos que miden con precisión la reactividad y el tamaño pupilar, eliminando el sesgo humano y mejorando la precisión de las evaluaciones. Estos dispositivos automatizados incluyen una cámara digital, un microordenador, una fuente de luz y un monitor. Utilizan luz infrarroja de 850 nm y registran la luz reflejada desde el iris, proporcionando medidas rápidas y repetibles en 3 a 4 segundos, además de datos sobre el tamaño de constricción, la latencia del reflejo, y permiten un registro de mediciones.

**Pupilometría de Infrarrojos:** Esta tecnología ha revolucionado la neurología crítica al ofrecer herramientas valiosas para la evaluación y monitoreo de pacientes. Los pupilómetros infrarrojos portátiles permiten mediciones objetivas y precisas del tamaño pupilar y sus reflejos, proporcionando datos cuantitativos cruciales para el diag-

nóstico y seguimiento de diversas condiciones neurológicas. Funciona iluminando el ojo con luz infrarroja y analizando la imagen reflejada por un sensor infrarrojo, lo que permite determinar el diámetro pupilar y otros parámetros como el reflejo pupilar a la luz. Los datos son procesados y presentados de inmediato en una pantalla, facilitando la interpretación y la toma de decisiones clínicas [7].

**Pupilometría con Reconocimiento Facial en Teléfonos Inteligentes:** Este enfoque innovador tiene el potencial de transformar la evaluación pupilar, permitiendo mediciones precisas en el hogar. La idea es desarrollar y validar un pupilómetro habilitado por sistemas de reconocimiento facial en teléfonos inteligentes, que pueda medir los cambios relativamente y los tamaños absolutos de las pupilas en milímetros. Se están investigando hallazgos sobre la viabilidad de que los adultos mayores realicen pruebas de respuesta pupilar de manera remota. Este tipo de pupilometría emplea aplicaciones móviles diseñadas para diagnosticar y monitorear la evolución de las enfermedades cerebrales, lo que requiere un accesorio especial para el teléfono que facilite la realización de pruebas de respuesta pupilar.

#### **Parámetros Evaluados en la Pupilometría**

La pupilometría es una técnica utilizada para medir y analizar las respuestas pupilares a diferentes estímulos. Los principales parámetros que se evalúan incluyen:

**Diámetro Pupilar:** Se refiere al tamaño de la pupila en milímetros antes de la contracción, evaluado tanto en condiciones de luz como en oscuridad para determinar la respuesta a los cambios de iluminación.

**Velocidad de Contracción:** Este parámetro mide la rapidez promedio con la que la pupila se contrae en respuesta a un estímulo luminoso, expresándose en milímetros por segundo [8].

**Velocidad de Dilatación:** Indica la rapidez con la que la pupila se dilata después de la contracción, también medida en milímetros por segundo.

**Latencia de la Respuesta Pupilar:** Es el tiempo que tarda la pupila en comenzar a reaccionar ante un estímulo luminoso, medido en milisegundos.

**Amplitud de la Respuesta Pupilar:** Representa la diferencia en el tamaño de la pupila antes y después del estímulo, reflejando la magnitud de la respuesta.

**Simetría Pupilar:** Compara las respuestas pupilares entre ambos ojos para identificar asimetrías que podrían indicar problemas neurológicos.

**Forma de la Pupila:** Evalúa la regularidad de la forma de la pupila, ya que cualquier irregularidad puede ser indicativa de patologías o lesiones específicas.

**Reflejo Fotomotor Directo e Indirecto:** Evalúa la respuesta de la pupila del ojo expuesto a la luz (reflejo directo) y la respuesta de la pupila del ojo contralateral (reflejo consensuado o indirecto).

#### **Interpretación de Resultados**

**Pupilas Isocóricas y Reactivas:** Pupilas de tamaño normal y que responden a la luz son un buen indicador de función neurológica adecuada.

**Pupilas Anisocóricas:** Diferencias de tamaño entre las pupilas pueden señalar daño unilateral en el nervio óptico o herniación cerebral, sugiriendo un traumatismo craneoencefálico.

**Pupilas Fijas y Dilatadas:** Pupilas que no responden y se encuentran dilatadas indican daño severo del tronco encefálico o alta presión intracraneal, lo que requiere una intervención médica inmediata.

#### **Aplicaciones Clínicas de la Pupilometría**

La pupilometría es una herramienta valiosa en diversas situaciones clínicas, especialmente en el manejo del traumatismo craneoencefálico grave. Sus principales aplicaciones incluyen:

**Evaluación del Estado Neurológico:** El tamaño y la reactividad pupilar ofrecen información sobre la función del nervio oculomotor y el tronco encefálico. Pupilas dilatadas y no reactivas (midriasis) suelen asociarse con un mal pronóstico, mientras que cambios en el reflejo pupilar pueden indicar empeoramiento neurológico.

**Detección de Herniación Cerebral:** La pupilometría ayuda a identificar la herniación cerebral observando cambios en el tamaño y reactividad pupilar. El índice de reactividad pupilar (IRP) se utiliza para evaluar la función del tallo cerebral y pronosticar resultados. Un IRP de 3 indica función normal, mientras que valores inferiores sugieren disfunción y mayor riesgo de herniación.

**Monitoreo de la Presión Intracraneal (PIC):** Cambios en el tamaño y la reactividad pupilar pueden ser indicadores indirectos de aumento de la PIC. Pupilas dilatadas y no reactivas pueden señalar compresión del tronco cerebral, lo que requiere intervención inmediata [9].

**Evaluación Pronóstica:** La respuesta pupilar es un marcador importante en la prognosis de pacientes con TCE. Pacientes con pupilas no reactivas tienden a tener peores resultados, lo que ayuda a los médicos en la toma de decisiones sobre el manejo del paciente.

**Monitoreo Continuo:** Permite el seguimiento constante de la función neurológica, crucial para pacientes en cuidados intensivos, donde los cambios pupilares pueden indicar la necesidad de intervención.

**Monitorización de la Respuesta al Tratamiento:** La pupilometría puede evaluar la efectividad de tratamientos como cirugía o medicamentos para reducir la hipertensión intracraneal [10,43].

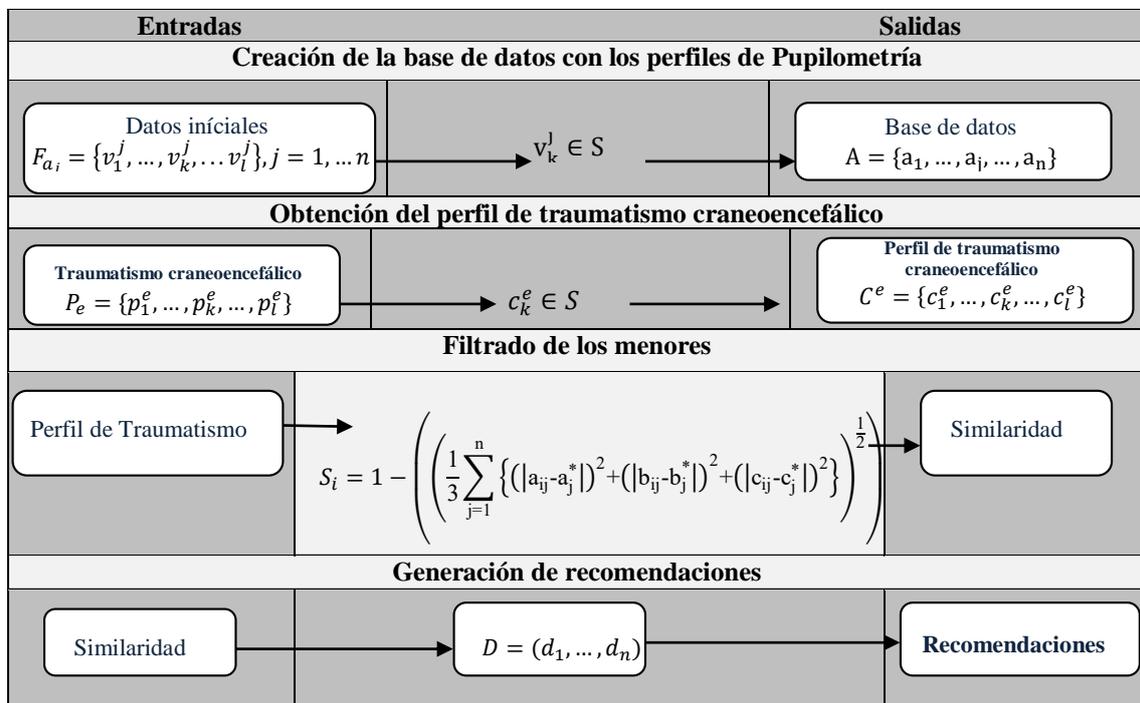
#### **Ventajas y Limitaciones**

**Ventajas:**

No Invasiva: Permite una evaluación continua y segura sin procedimientos invasivos.  
 Rápida y Repetible: Puede realizarse frecuentemente para monitorear cambios en la condición del paciente.  
 Indicadora de Lesiones: Alteraciones en la respuesta pupilar pueden señalar problemas como hipertensión intracraneal y daño cerebral.  
 Limitaciones:  
 Variabilidad Interindividual: Existen diferencias normales en el tamaño y reactividad pupilar entre individuos, lo que puede complicar la interpretación de resultados.  
 Acceso y Costo: La disponibilidad de pupilómetros automáticos puede ser limitada en algunos centros de salud.  
 Interferencia de Medicamentos: Fármacos como los opioides pueden afectar la reactividad pupilar, dificultando la evaluación.  
 No Definitiva: La pupilometría no es una prueba concluyente para diagnosticar TCE o predecir pronósticos; debe considerarse en el contexto clínico completo.

**2 Materiales y métodos**

Los Sistemas de recomendaciones son técnicas de filtrado de información que tienen por objetivo facilitar o asistir al usuario en la toma de una decisión [11]. Estos sistemas basan su funcionamiento en la selección y clasificación de información de acuerdo con los requerimientos del usuario [12,44]. Para esta investigación se utilizará un enfoque basado en conocimiento. Los modelos de recomendación basados en conocimiento realizan sugerencias haciendo inferencias sobre las necesidades del usuario y sus preferencias. El sistema de recomendaciones que se propone en esta investigación tiene como objetivo servir como herramienta de apoyo para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave. Consta de cuatro procesos principales: creación de la base de perfiles del Pupilometría, obtención de los perfiles del Pupilometría, filtrado y generación de las recomendaciones a partir del perfil de semejanza. La Figura 1 muestra un esquema con el funcionamiento del sistema de recomendaciones propuesto.



**Figura 1:** Esquema general del funcionamiento del sistema de recomendaciones basado en conocimiento.

El sistema de recomendación propuesto se basa en conocimiento. Permitiendo representar términos lingüísticos y la indeterminación mediante números SVN [13, 14]. Utiliza como base de inferencia la propuesta de Córdón [15, 16]. A continuación, se presenta el flujo de trabajo para las diferentes actividades:

**Actividad 1. Creación de la base de datos con los perfiles de Pupilometría:**

Cada una de los Pupilometría  $a_i$  es descrito mediante un grupo de competencias, destrezas, conocimientos y carencias de capacitación, determinándose el perfil de los Pupilometría tal como muestra la expresión 1.

$$C = \{c_1, \dots, c_k, \dots, c_l\} \quad (1)$$

Los perfiles pueden ser obtenidos de forma directa a partir de los algoritmos computacionales utilizados para la gestión del conocimiento de los profesionales de la salud:

$$F_{a_j} = \{v_1^j, \dots, v_k^j, \dots, v_l^j\}, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

Las valoraciones de las competencias de los Pupilometría,  $a_j$ , 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 competencias  $c_k$  utilizando los números SVN [17-19]. Los términos lingüísticos a emplear deben ser definidos [20-22]. Cada alternativa descrita conforma el conjunto de perfiles de Pupilometría con que se nutre el sistema de recomendaciones tal como muestra la expresión 3.

$$A = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_n\} \quad (3)$$

Cada perfil generado por el sistema de recomendación es almacenado en una base de datos [23-25]. Los datos constituyen la base de la inferencia posterior para el sistema de recomendaciones.

### Actividad 2. Obtención del perfil de traumatismo craneoencefálico grave:

En esta actividad se determina la información de traumatismo craneoencefálico grave sobre las preferencias de estos almacenándose en un perfil de modo que [26], [27], [28], [14]:

$$P_e = \{p_1^e, \dots, p_k^e, \dots, p_l^e\} \quad (4)$$

El perfil estará integrado por un conjunto de criterios que caracterizan el traumatismo craneoencefálico grave:

$$C^e = \{c_1^e, \dots, c_k^e, \dots, c_l^e\} \quad (5)$$

Donde  $c_k^e \in S$

Este puede ser obtenido mediante el llamado enfoque conversacional y mediante ejemplos los cuales pueden ser adaptados [29], [30], [31], [32,45].

### Actividad 3. Filtrado de los cursos

En esta actividad se filtran los cursos de acuerdo al perfil almacenado para encontrar cuáles son las más adecuados según las características presentes [33],[34], [35], [36]. Con este propósito es calculada la similitud entre el perfil de los Pupilometría,  $P_e$  y cada perfil disponible  $a_j$  registrado en la base de datos y que ha sido confirmado como efectivo para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave [37-39]. Para el cálculo de la similitud total se emplea la siguiente expresión:

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

La función  $S$  calcula la similitud entre los valores de los atributos del perfil de traumatismo craneoencefálico grave y los almacenados para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave  $a_j$ .

### Actividad 4. Generación de recomendaciones

Una vez calculada la similitud entre el perfil de traumatismo craneoencefálico grave y los almacenados para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave en la base de datos, cada uno de los perfiles se ordenan de acuerdo a la similitud obtenida representado por el siguiente vector de similitud.

$$D = (d_1, \dots, d_n) \quad (7)$$

La recomendación identificará qué curso de postgrado, tiene mayor grado de probabilidad de ser clasificado como Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave, según el grado de similaridad con casos anteriores confirmados como efectivos.

## 3 Resultados y discusión

La presente sección describe los resultados de la implementación del Sistema de recomendaciones para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave. El sistema permite la obtención de un

conjunto de datos que facilitando el trabajo para la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave. [46,47]

Para la aplicación de la propuesta se parte del conjunto de datos almacenados en la base de datos sobre el traumatismo craneoencefálico grave. A continuación se presenta un ejemplo demostrativo a partir del cual se parte de la base de datos que posee:

$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\} \text{ Descrito por el conjunto de atributos } C = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$$

Los atributos se valorarán en la siguiente escala lingüística (Tabla 1). Estas valoraciones serán almacenadas para nutrir la base de datos.

**Tabla 1:** Términos lingüísticos empleados [40].

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)

La Tabla 2 muestra una vista con los datos utilizado en este ejemplo.

**Tabla 2:** Base de datos de perfiles de traumatismo craneoencefálico grave.

	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$c_4$
$a_1$	MDB	M	MB	MB
$a_2$	M	MB	MB	MB
$a_3$	MDB	M	MB	M
$a_4$	MDB	B	MB	M
$a_5$	MDB	M	MB	MB
$a_6$	M	MMB	MMB	B
$a_7$	M	B	MMB	B
$a_8$	M	MMB	MB	MMB

Si un Pupilometría  $u_e$ , desea recibir las recomendaciones del sistema, deberá proveer información al mismo expresando el perfil actual del traumatismo craneoencefálico grave que necesita la recomendación. En este caso:

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

El siguiente paso es el cálculo de la similitud entre el perfil de traumatismo craneoencefálico grave actualmente con necesidades de capacitación y los almacenados como confirmados con traumatismo craneoencefálico grave.

**Tabla 3:** Similitud entre los perfiles almacenados y el perfil del traumatismo craneoencefálico grave.

$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$
0.10	0.40	0.15	0.15	0.35	0.55	0.95	0.25

En la fase de recomendación se recomendarán aquellos perfiles que más se acerquen al perfil del traumatismo craneoencefálico grave actualmente con necesidades de capacitación. Un ordenamiento de los perfiles basado en esta comparación sería el siguiente.

$$\{a_7, a_6, a_2, a_5, a_8, a_3, a_4, a_1\}$$

En caso de que el sistema recomendará los dos perfiles más cercanos, estas serían las recomendaciones:

$$a_7, a_6$$

La aplicación de las recomendaciones provee una vecindad lo más cercano al perfil comparativo para el ejemplo en cuestión la solución es:

$a_7$

Con la implementación de este sistema, se tendrá una herramienta para analizar la información almacenada en la base de datos de Pupilometría efectivos clasificados como traumatismo craneoencefálico grave y realizar comparaciones con el perfil del traumatismo craneoencefálico grave actualmente para identificar similitudes y patrones que han sido efectivos en otras ocasiones y que muy probablemente será efectivo para este caso.

#### 4 Conclusión

La implementación de un Sistema de recomendaciones permitió la clasificación de Pupilometría en el traumatismo craneoencefálico grave. La pupilometría constituye una herramienta fundamental en el manejo de pacientes con traumatismo craneoencefálico grave, ya que ofrece información inmediata sobre su estado neurológico, lo que permite una intervención médica oportuna.

Existen diversos métodos para realizar la medición pupilar, incluyendo la observación manual, el uso de pupilómetros automáticos, la pupilometría infrarroja y enfoques tecnológicos innovadores como el reconocimiento facial en teléfonos inteligentes.

La correcta interpretación de los datos obtenidos en la pupilometría, tales como el diámetro pupilar, velocidad de contracción y dilatación, latencia de la respuesta pupilar, amplitud de la reacción y reflejos fotomotores directos e indirectos, es crucial para el adecuado manejo de los pacientes con TCE grave.

Los cambios en el tamaño y la reactividad de las pupilas pueden ser indicadores tempranos de deterioro neurológico, aumento de la presión intracraneal y otras complicaciones. Además, la pupilometría tiene un valor pronóstico significativo; la presencia de pupilas no reactivas o anisocóricas está asociada a peores pronósticos y a mayores tasas de mortalidad, mientras que pupilas reactivas y simétricas generalmente se correlacionan con mejores resultados neurológicos.

#### Referencias

- [1] S. H. Haddad, and Y. M. Arabi, "Critical care management of severe traumatic brain injury in adults," *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, vol. 20, pp. 1-15, 2012.
- [2] C.-H. Hsu, and L.-T. Kuo, "Application of pupillometry in neurocritical patients," *Journal of Personalized Medicine*, vol. 13, no. 7, pp. 1100, 2023.
- [3] F. Martínez-Ricarte, A. Castro, M. Poca, J. Sahuquillo, L. Expósito, M. Arribas, and J. Aparicio, "Pupilometría por infrarrojos. Descripción y fundamentos de la técnica y su aplicación en la monitorización no invasiva del paciente neurocrítico," *Neurología*, vol. 28, no. 1, pp. 41-51, 2013.
- [4] D. Lozano-Elizondo, "Prolífico genio en oftalmología: Albrecht Von Graefe (1828-1870)," *Revista Mexicana de Oftalmología*, vol. 84, no. 2, pp. 132-137, 2010.
- [5] D. Godoy, W. Videtta, R. Santa Cruz, X. Silva, S. Aguilera-Rodríguez, J. Carreño-Rodríguez, F. Ciccioli, G. Piñero, J. D. Ciro, and S. da Re-Gutiérrez, "General care in the management of severe traumatic brain injury: Latin American consensus," *Medicina Intensiva (English Edition)*, vol. 44, no. 8, pp. 500-508, 2020.
- [6] Y. Arevalo-Martinez, E. Cortecero-Sabalza, S. Gil-Barrera, M. A. Morales-Núñez, L. Quintana-Pajaro, and L. R. Moscote-Salazar, "Pupilometría: conceptos fisiológicos y clínicos aplicados al paciente neurocrítico," *Rev. argent. neurocir*, pp. 47-51, 2019.
- [7] J. H. Boulter, M. M. Shields, M. R. Meister, G. Murtha, B. P. Curry, and B. A. Dengler, "The expanding role of quantitative pupillometry in the evaluation and management of traumatic brain injury," *Frontiers in neurology*, vol. 12, pp. 685313, 2021.
- [8] A. B. Ortiz, and J. H. Lucas, "Utilidad de la pupilometría cuantitativa en la unidad de cuidados intensivos," *Medicina intensiva*, vol. 46, no. 5, pp. 273-276, 2022.
- [9] P. Singh, S. E. Stutzman, A. Venkatachalam, D. M. Olson, A. Barnes, and F. D. Atem, "Identificação da velocidade anormal da dilatação de pupila como biomarcador de lesão cerebral em pacientes neurocríticos," *Revista Brasileira de Terapia Intensiva*, vol. 33, no. 3, pp. 412-421, 2021.
- [10] A. Stevens, Z. Su, E. Toman, A. Belli, and D. Davies, "Optical pupillometry in traumatic brain injury: neurological pupil index and its relationship with intracranial pressure through significant event analysis," *Brain Injury*, vol. 33, no. 8, pp. 1032-1038, 2019.
- [11] E. J. M. Carreño, K. V. M. Suárez, A. L. M. Albán, and J. E. F. Escobar, "Gamificación y el fortalecimiento de ambientes lúdicos interactivos de aprendizaje en la Educación Superior," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 1, pp. 693-704, 2023.
- [12] O. M. Cornelio, L. A. Santos, B. B. Fonseca, and K. D. Hernández, "Sistema para la gestión de información como de apoyo al diagnóstico médico basado en mapa cognitivo difuso," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 2, pp. 145-158, 2023.

- [13] F. Smarandache, "Neutrosophia y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [14] F. Smarandache, "Significado Neutrosófico: Partes comunes de cosas poco comunes y partes poco comunes de cosas comunes," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 1-14, 2025.
- [15] L. G. P. Cordón, "Modelos de recomendación con falta de información. Aplicaciones al sector turístico," Universidad de Jaén, 2008.
- [16] M. R. M. Arroyave, A. F. Estrada, and R. C. González, "Modelo de recomendación para la orientación vocacional basado en la computación con palabras [Recommendation models for vocational orientation based on computing with words]," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 15, no. 1, pp. 80, 2016.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] M. Saqlain, M. Saeed, M. R. Ahmad, and F. Smarandache, *Generalization of TOPSIS for Neutrosophic Hypersoft set using Accuracy Function and its Application: Infinite Study*, 2019.
- [24] N. ValcÁ, and M. Leyva-VÁ, "Validation of the pedagogical strategy for the formation of the competence entrepreneurship in high education through the use of neutrosophic logic and Iadov technique," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 23, pp. 45-51, 2018.
- [25] C. M. Villamar, J. Suarez, L. D. L. Coloma, C. Vera, and M. Leyva, *Analysis of technological innovation contribution to gross domestic product based on neutrosophic cognitive maps and neutrosophic numbers: Infinite Study*, 2019.
- [26] V. Espín Martín, "Sistemas de recomendación semánticos para la compartición de conocimiento y la explotación de tesauros: Un enfoque práctico en el ámbito de los sistemas nutricionales," 2016.
- [27] J. E. Ricardo, N. B. Hernández, R. J. T. Vargas, A. V. T. Suntaxi, and F. N. O. Castro, "La perspectiva ambiental en el desarrollo local," *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2017.
- [28] D. F. Coka Flores, I. F. Barcos Arias, M. E. Infante Miranda, and O. Mar Cornelio, "Applying Neutrosophic Natural Language Processing to Analyze Complex Phenomena in Interdisciplinary Contexts," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 74, no. 1, pp. 26, 2024.
- [29] L. Pérez, "Modelo de recomendación con falta de información. Aplicaciones al sector turístico," Tesis doctoral. Universidad de Jaén, 2008.
- [30] M. Leyva-Vázquez, M. A. Quiroz-Martínez, Y. Portilla-Castell, J. R. Hechavarría-Hernández, and E. González-Caballero, "A New Model for the Selection of Information Technology Project in a Neutrosophic Environment," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 32, no. 1, pp. 22, 2020.
- [31] Y. Martínez, A. Nowé, J. Suárez, and R. Bello, "A reinforcement learning approach for the flexible job shop scheduling problem." pp. 253-262.
- [32] N. Batista Hernández, and J. Estupiñán Ricardo, "Gestión empresarial y posmodernidad: Infinite Study," 2018.
- [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. 7-22, 2015.
- [34] R. Bello, A. Puris, A. Nowe, Y. Martínez, and M. M. García, "Two step ant colony system to solve the feature selection problem." pp. 588-596.
- [35] F. Smarandache, and M. Leyva-Vázquez, *Fundamentos de la lógica y los conjuntos neutrosóficos y su papel en la inteligencia artificial: Infinite Study*, 2018.
- [36] B. B. Fonseca, and O. M. Cornelio, "Método para el análisis lingüístico de estadísticas médica," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 110-127, 2025.
- [37] R. Bello, A. Nowe, Y. Caballero, Y. Gómez, and P. Vrancx, "A model based on ant colony system and rough set theory to feature selection." pp. 275-276.

- [38] C. Donis-Díaz, A. Muro, R. Bello-Pérez, and E. V. Morales, "A hybrid model of genetic algorithm with local search to discover linguistic data summaries from creep data," *Expert systems with applications*, vol. 41, no. 4, pp. 2035-2042, 2014.
- [39] D. Molina, A. Puris, R. Bello, and F. Herrera, "Variable mesh optimization for the 2013 CEC special session niching methods for multimodal optimization." pp. 87-94.
- [40] R. Sahin, and M. Yigider, "A Multi-criteria neutrosophic group decision making metod based TOPSIS for supplier selection," *arXiv preprint arXiv:1412.5077*, 2014.
- [41] Vásquez, 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.
- [42] Romero, A. V., Sánchez, F. M., & Estupiñán, C. P. "Inteligencia artificial en gestión hotelera: aplicaciones en atención al cliente". *El patrimonio y su perspectiva turística*, pp. 409-423, 2024.
- [43] Márquez Carriel, D. C., Oña Garcés, L., Vergara Romero, A., & Márquez Sánchez, F. "Assessing the need for a feminist foreign policy in Ecuador through a sentiment analysis based on neutroAlgebra". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 71, num. 1, pp. 16, 2024.
- [44] Vergara-Romero, A., Macas-Acosta, G., Márquez-Sánchez, F., & Arencibia-Montero, O. "Child Labor, Informality, and Poverty: Leveraging Logistic Regression, Indeterminate Likert Scales, and Similarity Measures for Insightful Analysis in Ecuador". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol 66, pp 136-145, 2024
- [45] von Feigenblatt, O. F. "Research Ethics in Education. In *Ethics in Social Science Research: Current Insights and Practical Strategies*", pp. 97-105. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025.
- [46] von Feigenblatt, O. F. "Immediacy and Sustainable Development: The Perspective of Youth". *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, vol. 19, num 2, 2024
- [47] de León, E. R., Marqués, L. L., Poleo, A., & von Feigenblatt, O. F. "El estilo del liderazgo educativo en el proceso de enseñanza: una revisión de la literatura". In *Anales de la Real Academia de Doctores*. vol. 9, num. 2, pp. 289-308, 2024

Recibido: febrero 18, 2025. Aceptado: marzo 08, 2025