



Método neutrosófico para la recomendación sobre sistemas adhesivos y su gold estándar

Neutrosophic method for the recommendation of adhesive systems and their gold standard

Mario Andrés Fuertes Paguay ¹, Lessly Denisse Iza Campaña ², and Alejandra Abigail Molina Lozada ³

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.mariofp47@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. lesslydic64@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. alejandraaml77@uniandes.edu.ec

Resumen. La presente investigación se centra en los sistemas adhesivos disponibles en el mercado ecuatoriano, materiales esenciales en la odontología restauradora y adhesiva, utilizados en restauraciones, carillas y coronas. Estos adhesivos se clasifican por generaciones según su composición y evolución, donde las últimas generaciones buscan simplificar su aplicación. A pesar de estas mejoras, los adhesivos de cuarta generación aún se consideran el gold estándar por su eficacia en la adhesión a esmalte y dentina. El objetivo principal de esta investigación es desarrollar un método neutrosófico para la recomendación de sistemas adhesivos y su gold estándar. Para lograrlo, se analizarán y compararán los diversos sistemas adhesivos disponibles, considerando la complejidad inherente a la selección del adhesivo adecuado para cada procedimiento. Integrar los Números Neutrosóficos de Valor Único permitirá abordar la incertidumbre y la vaguedad en la evaluación de las propiedades y el rendimiento de los adhesivos, optimizando así la toma de decisiones en la práctica odontológica y facilitando una selección más informada y precisa.

Palabras Claves: sistema de recomendación, números neutrosóficos, sistemas adhesivos, restauraciones.

Abstract. The present research focuses on the adhesive systems available in the Ecuadorian market, essential materials in restorative and adhesive dentistry, used in restorations, veneers and crowns. These adhesives are classified by generations according to their composition and evolution, where the latest generations seek to simplify their application. Despite these improvements, fourth-generation adhesives are still considered the gold standard for their effectiveness in adhesion to enamel and dentin. The main objective of this research is to develop a neutrosophic method for the recommendation of adhesive systems and their gold standard. To achieve this, the various adhesive systems available will be analyzed and compared, considering the inherent complexity in the selection of the appropriate adhesive for each procedure. Integrating the Neutrosophic Single Value Numbers will allow to address uncertainty and vagueness in the evaluation of adhesive properties and performance, thus optimizing decision making in dental practice and facilitating a more informed and accurate selection.

Keywords: recommendation system, neutrosophic numbers, adhesive systems, restorations

1 Introducción

En las últimas décadas, la odontología restauradora ha experimentado avances notables en la rehabilitación de tejidos dentarios afectados por lesiones cariosas, fracturas, desgastes y pérdida de estructura, buscando devolver la funcionalidad y estética dental [1]. Un pilar fundamental para el éxito de estos tratamientos, incluyendo la cementación de carillas, coronas e incrustaciones, reside en los sistemas adhesivos [2]. La unión a los tejidos dentales implica la manipulación de la superficie de los dientes para facilitar la adhesión de resinas, creando una capa híbrida que involucra tanto el diente como la resina. Lograr esta unión entre los sistemas adhesivos y los sustratos dentales, como el esmalte y la dentina, representa un desafío debido a las diferencias en su composición y estructura [3,35].

La introducción del grabado ácido en el esmalte por Buonocore en 1955 marcó un hito en el desarrollo de técnicas adhesivas [2]. A pesar de las evoluciones y simplificaciones, esta técnica sigue siendo considerada el

"gold standard" en la unión al esmalte. No obstante, la adhesión a la dentina es más compleja debido a sus características histológicas y a las variables topográficas y fisiopatológicas. La clasificación de los sistemas adhesivos ha variado, considerando generaciones, número de pasos clínicos y modos de acción.

Tradicionalmente, los adhesivos dentales se han clasificado por generaciones, un sistema cronológico comúnmente utilizado por los fabricantes. Las primeras generaciones ya no se utilizan debido a fallos en la unión. Si bien los fabricantes han desarrollado adhesivos simplificados, los adhesivos de cuarta generación de tres pasos, con grabado ácido, siguen siendo populares y ofrecen ventajas según la situación clínica y la experiencia del profesional [4]. La búsqueda de simplificación ha llevado a la unión del primer y el adhesivo en la quinta generación, y a la creación de adhesivos autograbables en la sexta generación. La séptima generación introdujo los adhesivos "all in one" de un solo paso, mientras que la octava generación o universales contienen rellenos nanométricos y monómeros para reducir la sensibilidad postoperatoria y permitir su uso en esmalte y dentina [5].

Los sistemas adhesivos de grabado y enjuague (ER) utilizan ácido fosfórico para tratar el esmalte y la dentina, dividiéndose en sistemas de tres o dos pasos según la inclusión de un paso de imprimación. Se considera que los sistemas ER mejoran la eficacia de la unión del esmalte y eliminan factores que inhiben la unión. En contraste, los sistemas adhesivos de autograbado (SE) crean una unión mediante una reacción química entre la hidroxiapatita y los monómeros de resina, generando una sal de calcio insoluble. Los adhesivos universales, ampliamente aceptados por su simplicidad, pueden utilizarse tanto en modo ER como SE, ofreciendo versatilidad y consistencia en la fuerza de unión a la dentina [6,36].

Los adhesivos de sexta generación son autograbantes de dos pasos, donde el primer frasco contiene el primer ácido hidrófilo y el segundo, el bond hidrófugo. En contraste, los adhesivos de séptima generación son autograbantes de un solo paso, combinando en un único frasco el primer ácido con el bond para simplificar la técnica. La octava generación, también conocida como adhesivos universales o multimodo, se caracteriza por presentar un único frasco que contiene monómeros funcionales hidrófilos e hidrófugos, permitiendo su uso como adhesivos de grabado total, autograbantes o con grabado selectivo del esmalte [7].

El esmalte dental, tejido duro y mineralizado que recubre la corona dental, está compuesto principalmente por cristales de hidroxiapatita. Su estructura puede ser prismática o aprismática, siendo el esmalte aprismático más delgado y menos ordenado, lo que puede afectar su respuesta al acondicionamiento ácido. El esmalte no es uniformemente duro, siendo más resistente en la superficie y menos hacia el límite con la dentina, y su proceso de adhesión se basa en el grabado ácido superficial, que disuelve áreas de los prismas y del esmalte interprismático, formando microporosidades que facilitan la unión adhesiva retentiva con los materiales de resina [8].

La dentina, el tejido más voluminoso del diente, está compuesta por una matriz mineralizada y túbulos dentinarios que contienen procesos odontoblásticos. Su matriz inorgánica está compuesta principalmente por cristales de hidroxiapatita, mientras que la matriz orgánica está compuesta por colágeno tipo I, proteínas no colágenas y agua. La dentina es permeable debido a la presencia de túbulos dentinarios, lo que influye en la sensibilidad dental y la adhesión de biomateriales. Durante los tratamientos dentales, se forma una capa superficial conocida como barrillo dentinario, que puede eliminarse o modificarse mediante el grabado superficial, permitiendo la penetración de los componentes del sistema adhesivo y estableciendo una unión adhesiva retentiva [9,37].

Entre las causas de fracasos en las restauraciones adhesivas se encuentran la posición del contorno cervical, la presencia de bases cavitadas, el número de pasos en el proceso adhesivo, la caries secundaria, el secado excesivo de la dentina, la presión digital durante la adhesión, la extensión de la lesión, la contaminación con saliva, el espesor mínimo de la restauración cerámica, la translucidez, el color del cemento, la carga masticatoria y la microfiltración [10]. El agua juega un papel crucial en la degradación de la interfaz entre la resina y la dentina, debido a la naturaleza hidrofílica de los monómeros y a la técnica húmeda utilizada [11,38].

Debido a estos factores, se definió como objetivo principal de esta investigación desarrollar un método neutrosófico para la recomendación de sistemas adhesivos y su gold estándar. Para nutrir el método se analizarán y compararán los diversos sistemas adhesivos disponibles, considerando la complejidad inherente a la selección del adhesivo adecuado para cada procedimiento.

3 Materiales y métodos

La recomendación de sistemas adhesivos y su gold estándar puede ser conceptualizada como un problema de toma de decisión multicriterio debido a la compleja interacción de múltiples factores involucrados en la adhesión dental. Cada sistema adhesivo presenta características específicas que pueden influir en la efectividad de la unión, como la técnica clínica, propiedades físicas, facilidad de uso, sensibilidad postoperatoria, durabilidad y compatibilidad con distintos materiales restaurativos. Además, la variabilidad en la anatomía dental de los pacientes, las condiciones clínicas y las preferencias del profesional incrementan la complejidad del proceso decisional. Así, es necesario evaluar y ponderar estos criterios de manera holística para seleccionar la opción más adecuada en cada situación clínica particular. Este enfoque permite a los profesionales de la odontología optimizar su elección de sistemas adhesivos, asegurando resultados clínicos favorables y mejorando la calidad de atención al paciente. La toma de decisiones multicriterio, por tanto, no solo se fundamenta en la preferencia por un sistema específico, sino

en un análisis comprensivo que integra las necesidades clínicas, las características de los materiales y las expectativas del paciente. Formalmente, el problema de toma de decisiones analizado se puede representar como:

- Un conjunto de alternativas que representan los pacientes con casos de restauraciones adhesivas $A = \{A_1, \dots, A_n\}$, $n \geq 2$ que se encuentran caracterizadas por:
- Un conjunto de criterios que influyen en la determinación del sistema adhesivo a implementar $C = \{C_1, \dots, C_m\}$, $m \geq 2$;

3.1 Métodos Multicriterio

Los problemas de toma de decisiones pueden clasificarse según las variables involucradas en el proceso, distinguiéndose entre ambientes monocriterio y multicriterio. En un ambiente monocriterio, existe una única variable que determina el comportamiento en el análisis de alternativas, lo que genera una relación directa y clara entre esa variable y el resultado esperado [12]. En este contexto, se cumple la condición $p \rightarrow q$, donde p representa el estado de la variable objeto de estudio y q es el resultado derivado de dicha variable. Esto implica que cualquier valor que adopte la variable tendrá un impacto positivo o negativo en la consecución del objetivo o la elección de la alternativa. Esta simplicidad en la relación permite a los decisores identificar rápidamente las implicaciones de sus elecciones, facilitando el proceso de decisión. Sin embargo, esta estructura también limita la consideración de otros factores relevantes que podrían influir en el resultado, lo cual es un aspecto que puede ser crucial en situaciones más complejas, donde múltiples variables interactúan de manera significativa [13,39]. En consecuencia, aunque el enfoque monocriterio puede ser útil en problemas simples, a menudo no refleja la realidad de decisiones más complejas que requieren un análisis más profundo y un enfoque multicriterio.

Los operadores de agregación representan un método de inferencia en el que sus funciones matemáticas son utilizadas en los procesos de toma de decisiones [14, 15] 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, 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 $\sum_{i=1}^n v_i = 1$, 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 por sus siglas en Inglés), Media Ponderada Ordenada [16], permite unificar los criterios clásicos de decisión de incertidumbre en una expresión [17].

3.2 Números Neutrosóficos de Valor Único

La Neutrosofía es una rama de la filosofía introducida por Florentin Smarandache en 1980. Estudia la neutralidad, es decir, la falta de pertenencia o no pertenencia a un conjunto [18]. 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 [19]. La definición original de valor de verdad en la lógica neutrosófica es mostrado a continuación [19]:

Definición 2. Sean $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1]\}$ cn, una valuación neutrosófica es un mapeo de un grupo de fórmulas proporcionales a N , esto es que por cada sentencia p se tiene:

$$v(p) = (T, I, F) \quad (2)$$

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) [20] los cuales permiten el empleo de variables lingüísticas [21] lo que aumenta la interpretabilidad en los modelos de recomendación y el empleo de la indeterminación [22, 23].

Definición 3. Sea X un universo de discurso. Un SVN sobre X es un objeto de la forma.

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

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 $a + b + c \leq 3$

4 Método para la recomendación sobre sistemas adhesivos y su gold estándar

El método neutrosófico para la recomendación de sistemas adhesivos se presenta como una herramienta fundamental debido a su capacidad para manejar la incertidumbre y la ambigüedad inherentes en la toma de decisiones

clínicas. Este enfoque permite evaluar un conjunto de alternativas, $A=\{A_1,\dots,A_n\}$, que corresponden a diferentes casos de restauraciones adhesivas en los pacientes. Cada alternativa se caracteriza mediante un conjunto de criterios, $C=\{C_1,\dots,C_m\}$, que influyen de manera significativa en la elección del sistema adhesivo a implementar. La consideración de múltiples criterios es esencial, ya que estos pueden abarcar factores como la biocompatibilidad, la resistencia a la tracción, la facilidad de aplicación, y otros aspectos técnicos y clínicos que impactan directamente en el éxito de la restauración. Al integrar el método neutrosófico, se logra una evaluación más rica y matizada, que toma en cuenta no solo las preferencias explícitas de los profesionales de la salud, sino también la naturaleza difusa y a menudo contradictoria de la información disponible, ofreciendo así recomendaciones que se alinean mejor con las necesidades individuales de los pacientes y las características específicas de cada caso.

El método 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: Estructura general del funcionamiento para el método propuesto.

4.1 Descripción de las etapas del método

Entradas: La entrada de información permite la introducción de los diferentes datos que son necesarios en el proceso de toma de decisiones. Los datos representan la principal fuente de información a ser utilizada en la etapa de procesamiento.

- **Criterios:** Los criterios son los factores que guiarán la evaluación del sistema adhesivo a implementar. Por ejemplo, en el contexto de restauraciones dentales, los criterios pueden incluir la biocompatibilidad, la resistencia a la humedad, la facilidad de uso y el costo. La diversidad de criterios permite que el proceso de decisión sea más exhaustivo y personalizado a la hora de valorar las diferentes opciones de sistemas adhesivos que pueden ser seleccionados para el tratamiento. Por ejemplo: adhesivo de resina compuesta, adhesivo de polímero, o adhesivo de vidrio ionómero.
- **Alternativas:** Las alternativas son el conjunto de casos de restauración a analizar.
- **Preferencias:** Este componente representa las prioridades de los expertos en relación con los criterios seleccionados.

Procesamiento de información: Representa la capacidad del método para ejecutar cálculos matemáticos a partir de un método de inferencia utilizado que ejecuta una secuencia de operaciones. El procesamiento es la característica que permite la transformación de datos almacenados en información organizada con un objetivo específico [24]. En esta fase, se llevan a cabo varios subprocesos para evaluar las entradas:

1. **Selección de los criterios evaluativos:** Se determina cuáles criterios serán relevantes para el caso específico del paciente. Esto podría implicar la asignación de pesos a los criterios, dependiendo de su importancia relativa.
2. **Determinación de los perfiles de los pacientes:** Se analizan las características particulares de cada paciente, como la edad, el historial dental y cualquier condición médica preexistente que pueda influir en la elección del adhesivo.
3. **Evaluación y clasificación del sistema adhesivo a implementar:** Se utilizan métodos neutrosóficos para combinar las preferencias, criterios y alternativas, generando una evaluación cuantitativa que clasifica los sistemas adhesivos según su adecuación para cada paciente. Por ejemplo, se podría encontrar que el adhesivo de polímero tiene la mayor puntuación en biocompatibilidad y costo, mientras que el adhesivo de resina compuesta destaca en resistencia a la humedad.

Salidas: garantiza la representación del resultado generado a partir del procesamiento realizado. Permite devolver

el comportamiento de las alternativas a partir del proceso de inferencia realizado mediante las variables objeto de estudio.

1. Clasificación: Se proporciona una lista ordenada de los sistemas adhesivos evaluados, desde el más adecuado hasta el menos recomendable. Por ejemplo:
 - 1° (Adhesivo de polímero)
 - 2° (Adhesivo de resina compuesta)
 - 3° (Adhesivo de vidrio ionómero)
2. Recomendaciones: A partir de la clasificación, se emiten recomendaciones específicas para el profesional de la salud. Esto podría incluir una sugerencia de uso del adhesivo de polímero para el paciente con ciertas condiciones, o la indicación de una revisión adicional del caso en situaciones donde las alternativas son igualmente viables.

Ejemplo

Suponga que para un paciente joven con un historial dental saludable (Perfil del paciente), el experto ha determinado los siguientes criterios: biocompatibilidad (peso 0.5), resistencia a la humedad (peso 0.3) y costo (peso 0.2). Las evaluaciones de las alternativas se realizan, y se concluye que el adhesivo de polímero resulta ser la mejor opción siguiendo el proceso descrito, destacándose en todos los criterios. Así, el método neutrosófico permite tomar decisiones informadas y basadas en datos que consideran las realidades complejas de la práctica clínica dental.

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: (i) identificación de los criterios evaluativos; (ii) determinación de los perfiles de pacientes; (iii) evaluación y clasificación del sistema adhesivo; y (iv) la generación de recomendaciones. Estas actividades soportan el proceso de toma de decisiones del método [25,40]. A continuación se describen cada una de ellas:

Identificación de los criterios: los criterios son el conjunto de características que describen el caso de restauración. Representan la base de indicadores evaluativos sobre el cual se conforma el perfil C_i .

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

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

Las valoraciones de las características de los casos 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 [26-29]. La descripción de las características está asociada al conjunto de casos restauración que representan las alternativas del proceso [30, 31].

$$A = \{a_1, \dots, a_j, \dots, a_n\} \quad (5)$$

Evaluación y clasificación: para la evaluación y clasificación de los casos mediante números SVN [32, 33], 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 [33]:

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

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

A partir de esta distancia euclidiana se puede definir una medida de similitud [34], [21]. En la medida en que la alternativa se A_i se encuentra más semejante perfil del caso (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:

$$A_i [F_{a_j}] = [Pre_y] \quad (10)$$

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 caso de rehabilitación de los tejidos dentarios afectados, 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 del sistema adhesivo a implementar, se parte de:

$$A_i = [Pre_y, W_z] \quad (11)$$

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 neutrosófico para la recomendación sobre sistemas adhesivos y su gold estándar. El ejemplo presenta los elementos fundamentales sintetizados para facilitar la comprensión de los lectores. 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 sobre el uso del sistema adhesivo adecuado. 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 [33].

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 casos de pacientes con necesidades de rehabilitación de los tejidos dentarios afectados, que representan las alternativas tal como se refiere a continuación: $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7\}$; que son descritos por el conjunto de atributos que representan los criterios evaluativos $C = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5\}$ que se listan en la tabla 2.

Tabla 2. Criterios evaluativos.

ID	Criterio	Descripción
c_1	Biocompatibilidad y toxicidad	El sistema adhesivo debe ser biocompatible y no causar reacciones adversas en los tejidos dentales y pulpares, así como en los tejidos blandos circundantes.
c_2	Propiedades mecánicas	Evalúa la fuerza de unión que se necesita para soportar las cargas funcionales a las que se someterán las restauraciones. Esto incluye la resistencia a la tracción y la compresión.
c_3	Tipo de restauración	Considera el tipo de restauración que se va a realizar (composite, cerámica, metal) y su compatibilidad con el sistema adhesivo. Algunas resinas compuestas tienen mejores resultados con ciertos adhesivos.

ID	Criterio	Descripción
c ₄	Humedad del campo operativo	Determinar si la superficie dental estará seca o húmeda durante la aplicación del adhesivo. Algunos sistemas requieren un campo seco, mientras que otros son más tolerantes a la humedad.
c ₅	Condición del tejido dentario	Evalúa el grado de destrucción dental y el tipo de tejido que se rehabilitará (esmalte, dentina o ambos). Esto permitirá seleccionar un sistema adhesivo compatible con las propiedades del tejido remanente.

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

Tabla 3: Vista de datos de los casos de pacientes con necesidades de rehabilitación de los tejidos dentarios.

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

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

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

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

Tabla 4: Similitud entre los casos almacenados y las características del paciente suministradas por el especialista.

a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇
0.20	0.25	0.15	0.40	0.95	0.15	0.80

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

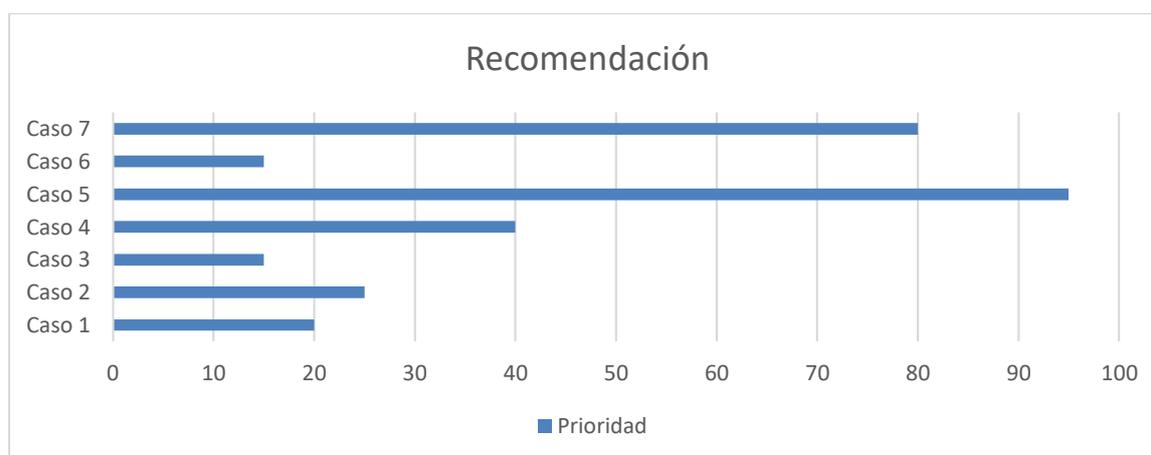


Figura 2: Ordenamiento de los perfiles.

A partir de esta comparación, los perfiles de casos de pacientes que han sido atendidos con un sistema adhesivo específico, son expresados mediante el siguiente orden de prioridad.

$$\{a_5, a_7, a_4\}$$

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

$$a_5, a_7$$

A partir del resultado, el perfil que mejor evaluación posee para representar la propuesta de evaluación óptima es a_3 que corresponde con un sistema de cuarta generación. Los resultados del sistema de recomendaciones implementado, resultan fundamentales para optimizar la elección de sistemas adhesivos en odontología. Al ofrecer un enfoque estructurado y basado en evidencia, permite a los profesionales tomar decisiones más informadas sobre qué adhesivo utilizar según las características específicas del procedimiento, la condición del tejido dental afectado y las propiedades mecánicas requeridas. Esto no solo mejora la eficacia de las restauraciones dentales, sino que también contribuye a la durabilidad y al éxito a largo plazo de los tratamientos, minimizando complicaciones y garantizando resultados más predecibles.

6 Discusión

El objetivo principal de la adhesión dental es generar una unión fuerte y duradera que asegure la retención del material restaurador, minimice problemas como la microfiltración y las caries secundarias, y reduzca el estrés por contracción. Estos objetivos son particularmente relevantes en el contexto de los procedimientos más conservadores que buscan preservar el tejido dental [2]. La diferenciación entre los tipos de tejido dental y el comportamiento de las distintas generaciones de adhesivos, como los de grabado ácido y autograbado, es crucial para una correcta elección [9].

La evidencia de diversos estudios resalta que los sistemas de grabado ácido, especialmente de cuarta generación, tienden a exhibir una resistencia adhesiva superior en comparación con los autoadhesivos, lo que sugiere una preferencia por estos en restauraciones indirectas. A pesar de las limitaciones que presentan los sistemas de autograbado en términos de desmineralización y penetración, su simplicidad y la reducción de pasos críticos pueden ser ventajas en ciertas situaciones clínicas [1]. Comparaciones entre estudios indican que, aunque los adhesivos universales de octava generación ofrecen versatilidad, el rendimiento puede variar significativamente dependiendo del método de aplicación y las condiciones de almacenamiento a largo plazo [2].

Por ejemplo, la evidencia sugiere que el uso de ácido fosfórico en la técnica de grabado mejora notablemente la resistencia al corte, alcanzando fuerzas de unión significativamente superiores a las de los métodos autograbantes, lo que pone de relieve la importancia de la técnica en el resultado final [1]. Esto es fundamental ya que la interacción entre los componentes adhesivos y la dentina depende de la correcta eliminación o modificación de la capa de barrillo dentinario, lo que a su vez permite una mejor penetración y, por ende, una unión más efectiva.

Los datos también sugieren un consenso sobre las mejores prácticas clínicas que se enfocan en la elección de adhesivos de cuarta y octava generación debido a su alta eficacia en la adhesión y menores tasas de fallo. En definitiva, nuestro sistema de recomendación debe guiar a los clínicos hacia la selección de adhesivos de acuerdo con las evidencias disponibles, priorizando aquellos que ofrecen un balance óptimo entre efectividad, técnica y conservación del tejido dental [10,41].

Los resultados del estudio evidencian una mayor fuerza de adhesión en los adhesivos de 4ta generación en comparación de los autograbados, además de destacar en cuanto a su fuerza de adhesión, comparado a la 8va generación [6]. En cuanto a estos últimos adhesivos denominados también universales se denota la gran efectividad de la marca de G2-Bond Universal, este obtuvo una mayor resistencia en cuanto a los otros adhesivos universales de diferentes casas comerciales como Scotchbond, pero depende de los modos de aplicación por parte del operador.

7 Conclusión

La implementación del método basado en números neutrosóficos de valor único para generar recomendaciones sobre el uso de sistemas adhesivos y su gold estándar, ha demostrado ser efectivo para abordar la complejidad y la incertidumbre inherentes al análisis de este tema. La investigación se centró en la evaluación de los sistemas adhesivos disponibles en el mercado ecuatoriano, destacando su importancia en la odontología restauradora y adhesiva. Se clasificaron estos adhesivos por generaciones, con un enfoque particular en la eficacia de los de cuarta generación, los cuales continúan siendo considerados el gold estándar debido a su superior unión al esmalte y la dentina. A través del desarrollo del método neutrosófico para la recomendación de sistemas adhesivos, se buscó abordar la incertidumbre y complejidad en la selección del adhesivo más adecuado para cada intervención. Los resultados obtenidos evidencian que los adhesivos de cuarta generación presentan una mayor fuerza de adhesión en comparación con los sistemas autograbados y los adhesivos de octava generación, entre los cuales destaca el G2-Bond Universal, que mostró una resistencia superior frente a otros adhesivos universales de distintas marcas, siempre dependiendo de las técnicas de aplicación utilizadas por el operador. Estos hallazgos subrayan la relevancia de una selección adecuada de sistemas adhesivos, contribuyendo así a prácticas odontológicas más efectivas y seguras.

Referencias

- [1] H. O. Simila, and A. R. Boccaccini, “Sol-gel bioactive glass containing biomaterials for restorative dentistry: A review,” *Dental Materials*, vol. 38, no. 5, pp. 725-747, 2022.
- [2] R. Bourgi, N. Kharouf, C. E. Cuevas-Suárez, M. Lukomska-Szymanska, Y. Haikel, and L. Hardan, “A literature review of adhesive systems in dentistry: Key components and their clinical applications,” *Applied Sciences*, vol. 14, no. 18, pp. 8111, 2024.
- [3] A. A. Khan, M. S. Zafar, M. A. Fareed, N. A. AlMufareh, F. Alshehri, H. AlSunbul, L. Lassila, S. Garoushi, and P. K. Vallittu, “Fiber-reinforced composites in dentistry—An insight into adhesion aspects of the material and the restored tooth construct,” *Dental Materials*, vol. 39, no. 2, pp. 141-151, 2023.
- [4] R. Ñaupari-Villasante, T. P. Matos, E. G. de Albuquerque, F. Warol, C. Tardem, F. S. Calazans, L. A. Poubel, A. Reis, M. O. Barceleiro, and A. D. Loguercio, “Five-year clinical evaluation of universal adhesive applied following different bonding techniques: A randomized multicenter clinical trial,” *Dental Materials*, vol. 39, no. 6, pp. 586-594, 2023.
- [5] M. H. Hussin, N. H. Abd Latif, T. S. Hamidon, N. N. Idris, R. Hashim, J. N. Appaturi, N. Brosse, I. Ziegler-Devin, L. Chrusiel, and W. Fatriasari, “Latest advancements in high-performance bio-based wood adhesives: A critical review,” *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 21, pp. 3909-3946, 2022.
- [6] C. Cui, and W. Liu, “Recent advances in wet adhesives: Adhesion mechanism, design principle and applications,” *Progress in Polymer Science*, vol. 116, pp. 101388, 2021.
- [7] O. Vidal, T. de Paris Matos, A. Núñez, L. Méndez-Bauer, E. Sutil, R. Naupari-Villasante, M. C. Souta, M. Pitlovanciv, M. F. Gutiérrez, and A. D. Loguercio, “A universal adhesive containing copper nanoparticles improves the stability of hybrid layer in a cariogenic oral environment: An in situ study,” *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, vol. 126, pp. 105017, 2022.
- [8] A. Y. Alsaeed, “Bonding CAD/CAM materials with current adhesive systems: An overview,” *The Saudi dental journal*, vol. 34, no. 4, pp. 259-269, 2022.
- [9] F. S. F. de Siqueira, M. Wendlinger, L. C. R. Araújo, P. H. de Aguiar Moreira, A. F. M. Cardenas, T. S. Carvalho, A. Reis, and A. D. Loguercio, “Bonding performance of universal adhesives to eroded dentine: A 6-year evaluation,” *Journal of dentistry*, vol. 136, pp. 104633, 2023.
- [10] A. Tsujimoto, W. W. Barkmeier, E. C. Teixeira, T. Takamizawa, M. Miyazaki, and M. A. Latta, “Fatigue bond strength of dental adhesive systems: Historical background of test methodology, clinical considerations and future perspectives,” *Japanese Dental Science Review*, vol. 58, pp. 193-207, 2022.
- [11] R. Sarikaya, L. Song, E. Yuca, S.-X. Xie, K. Boone, A. Misra, P. Spencer, and C. Tamerler, “Bioinspired multifunctional adhesive system for next generation bio-additively designed dental restorations,” *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, vol. 113, pp. 104135, 2021.
- [12] B. Bron Fonseca, and O. Mar 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.
- [13] O. M. Cornelio, A. R. Rodríguez, W. L. S. Álava, P. G. A. Mora, L. M. S. Mera, and B. J. P. Bravo, “La Inteligencia Artificial: desafíos para la educación,” *Editorial Internacional Alema*, 2024.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] O. M. Cornelio, B. B. Fonseca, and F. R. Marzo, “Metodología para la reutilización de la basura tecnológica en la asignatura de Arquitectura de Computadoras,” *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, vol. 5, no. 2, pp. 183-198, 2021.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang, and R. Sunderraman, “Single valued neutrosophic sets,” *Review of the Air Force Academy*, no. 1, pp. 10, 2010.
- [21] 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.

- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] B. B. Fonseca, and O. M. Cornelio, "Sistemas de recomendación para la toma de decisiones. Estado del arte," *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria. ISSN 2602-8166*, vol. 6, no. 1, pp. 149-164, 2022.
- [25] B. B. Fonseca, and O. Mar, "Implementación de operador OWA en un sistema computacional para la evaluación del desempeño," *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 2021.
- [26] R. G. Ortega, M. D. O. Rodríguez, M. L. Vázquez, J. E. Ricardo, J. A. S. Figueiredo, and F. Smarandache, *Pestel analysis based on neutrosophic cognitive maps and neutrosophic numbers for the sinos river basin management: Infinite Study*, 2019.
- [27] F. Smarandache, J. E. Ricardo, E. G. Caballero, M. Y. L. Vázquez, and N. B. Hernández, *Delphi method for evaluating scientific research proposals in a neutrosophic environment: Infinite Study*, 2020.
- [28] E. G. Caballero, M. Leyva, J. E. Ricardo, and N. B. Hernández, "NeuroGroups Generated by Uninorms: A Theoretical Approach," *Theory and Applications of NeutroAlgebras as Generalizations of Classical Algebras*, pp. 155-179: IGI Global, 2022.
- [29] O. F. Von Feigenblatt, *Honor, Loyalty, and Merit: The Cultura Contemporary of the Spanish Nobility*: Ediciones Octaedro, 2022.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] J. Ye, "Single-valued neutrosophic minimum spanning tree and its clustering method," *Journal of intelligent Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 311-324, 2014.
- [33] R. Sahin, and M. Yigider, "A Multi-criteria neutrosophic group decision making metod based TOPSIS for supplier selection," *arXiv preprint arXiv:1412.5077*, 2014.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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
- [39] 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.
- [40] 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
- [41] 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 21, 2025. Aceptado: marzo 11, 2025