



Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática

Neutrosophic Multicriteria Method for risk, efficacy and outcome assessment of intervention in adolescents with idiopathic scoliosis

John Alex Torres Yáñez¹, Brenedy Fernando Camino Garcés², and Karla Stephanie Moreira Velasco³

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. ua.johntv73@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. brenedycg03@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. karlamv42@uniandes.edu.ec

Resumen. La escoliosis idiopática del adolescente (EIA) es una deformidad de la columna en tres dimensiones cuya causa no es del todo clara, aunque se asocia principalmente a factores genéticos. Esta condición afecta predominantemente a adolescentes y se diagnostica cuando el ángulo de Cobb alcanza los 10° o más. El tratamiento depende de la gravedad y la madurez de la curva: se recomienda el uso de un corsé interno para curvas inmaduras que oscilen entre 25° y 45°, mientras que la cirugía es indicada para curvas maduras que superen los 45°. Este estudio examina la efectividad, riesgos y resultados de la Corrección Anterior de la Escoliosis (ASC), a través de una revisión de la literatura de los últimos cinco años. La ASC se distingue por ser un procedimiento que no fusiona las vértebras, utilizando tornillos segmentarios y un cordón flexible de polietileno. Aunque existen riesgos como la rotura del anclaje vertebral y complicaciones pulmonares, estos son poco frecuentes. El presente artículo tiene como objetivo implementar un Método Multicriterio Neutrosófico para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática. Se concluyó que es un método eficaz y menos invasivo para tratar la EIA en adolescentes, manteniendo la movilidad de la columna y presentando bajas tasas de complicaciones, aunque se requiere mayor investigación para consolidar sus beneficios.

Palabras Claves: método multicriterio neutrosófico, evaluación de riesgos, eficacia y resultados, intervención en adolescentes, escoliosis idiopática de comunicación.

Abstract. Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is a three-dimensional spinal deformity whose cause is not entirely clear, although it is mainly associated with genetic factors. This condition predominantly affects adolescents and is diagnosed when the Cobb angle reaches 10° or more. Treatment depends on the severity and maturity of the curve: the use of an internal corset is recommended for immature curves ranging from 25° to 45°, while surgery is indicated for mature curves exceeding 45°. This study examines the effectiveness, risks, and results of Anterior Scoliosis Correction (ASC), through a review of the literature from the last five years. ASC is distinguished by being a procedure that does not fuse the vertebrae, using segmental screws and a flexible polyethylene cord. Although there are risks such as vertebral anchor breakage and pulmonary complications, these are rare. The present article aims to implement a Neutrosophic Multicriteria Method for the evaluation of risks, efficacy and results of intervention in adolescents with idiopathic scoliosis. It was concluded that it is an effective and less invasive method to treat EIA in adolescents, maintaining spinal mobility and presenting low rates of complications, although further research is required to consolidate its benefits.

Keywords: multicriteria neutrosophic method, risk assessment, efficacy and results, intervention in adolescents, idiopathic communication scoliosis.

1 Introducción

La escoliosis idiopática en adolescentes (EIA) representa una deformidad tridimensional de la columna que afecta a una gran parte de la población juvenil a nivel mundial. Aunque la etiología de esta condición aún no se comprende por completo, investigaciones recientes han establecido una fuerte asociación con factores genéticos. La EIA tiende a manifestarse con mayor frecuencia en niños a partir de los 10 años, lo que resalta la importancia de una detección temprana y un enfoque adecuado en el tratamiento [1].

El diagnóstico de la EIA se confirma cuando el ángulo de Cobb es de 10° o más. Es fundamental considerar tanto el tipo como la magnitud de la curva al momento de decidir el tratamiento. Para curvas inmaduras que se encuentran entre 25° y 45° , se recomienda el uso de un corsé interno, mientras que para las curvas maduras que superan los 45° , se sugiere la cirugía. Ante esta situación, los cirujanos deben evaluar cuidadosamente cuál es el enfoque más adecuado para cada paciente.

Actualmente, se busca desarrollar procedimientos quirúrgicos que se clasifiquen como efectivos para tratar la escoliosis idiopática en adolescentes, y que, a su vez, ofrezcan múltiples beneficios a quienes padecen esta enfermedad. Dentro de este contexto, la Corrección Anterior de la Escoliosis (ASC) ha surgido como una técnica innovadora que promete una aproximación más avanzada en el tratamiento de la EIA, destacándose por sus ventajas en comparación con los métodos quirúrgicos convencionales [2].

La ASC representa una opción atractiva para pacientes con EIA, debido a su potencial para mejorar los resultados clínicos y facilitar la recuperación. Sin embargo, la necesidad de investigar y perfeccionar las técnicas quirúrgicas es de suma importancia para maximizar los beneficios y minimizar los riesgos asociados a estas intervenciones. La literatura actual sugiere que la continua actualización en este campo es crucial para ofrecer las mejores alternativas a los jóvenes con esta condición.

La escoliosis idiopática en adolescentes plantea un desafío significativo en el ámbito de la salud ortopédica. A medida que avanzan las técnicas quirúrgicas y se implementan innovaciones como la ASC, se requiere un compromiso constante hacia la investigación y la mejora de los tratamientos. Esto no solo permitirá optimizar los resultados para los pacientes, sino que también contribuirá al bienestar general de esta población vulnerable [3,31].

1.1 Preliminares

La Corrección Anterior de la Escoliosis se presenta como una cirugía innovadora que maximiza los beneficios y la eficacia del anclaje de cuerpo vertebral. Esta práctica clínica se fundamenta en una intervención quirúrgica que no implica la fusión ni la fijación de las vértebras de la columna, enfocándose en tratar específicamente a pacientes con escoliosis idiopática adolescente grave. Durante el procedimiento, se busca detener la progresión de la curvatura y corregirla mediante la inserción convexa de tornillos segmentarios, conectados a un cordón de polietileno flexible.

Técnica Quirúrgica

Para acceder a la columna vertebral, se realiza una incisión de 10 a 15 cm en el lado del tronco donde se encuentra la curvatura. La intervención se adapta según la cantidad de curvaturas presentes; comenzando desde el lado convexo de la escoliosis. En el caso de una escoliosis de doble curva, se requiere cirugía bilateral. Los tornillos se insertan de manera segmentaria y bicortical, frecuentemente utilizando un abordaje miniabierto o toracoscópico. Luego, el cordón de polietileno se sujeta a los tornillos, permitiendo que la corrección de la curvatura se logre mediante una compresión segmentaria, teniendo en cuenta el crecimiento residual para evitar una sobrecorrección.

En esta técnica, se utilizan comúnmente tornillos de titanio como anclaje para corregir la deformidad desde el lado convexo, mientras que el cordón flexible de polietileno, conocido como tether, conecta los tornillos y se tensa para lograr la corrección necesaria. Este cordón se asegura a uno de los tornillos tras la corrección segmentaria [4,32].

Riesgos de la Corrección Anterior de la Escoliosis

Uno de los riesgos asociados con esta intervención quirúrgica es la posible rotura del anclaje del cuerpo vertebral, que puede ocurrir con el tiempo debido a una fractura del anclaje entre los cuerpos vertebrales. Las roturas torácicas tienden a producirse por debajo del ápice de la curvatura, mientras que las lumbares generalmente ocurren en o distal al ápice. Si se presenta una rotura del cordón, la paciente puede no experimentar síntomas evidentes, y este tipo de complicación se suele detectar mediante radiografías de control. Se realizan radiografías preoperatorias y postoperatorias, así como seguimientos a los meses posteriores para evaluar la mejoría y detectar complicaciones. En caso de rotura, se requeriría una nueva operación para reemplazar el cordón; una estrategia para mitigar este riesgo es utilizar dos cuerdas en el mismo lado de la escoliosis si es necesario.

Además, pueden surgir complicaciones pulmonares. Según estudios, existe aproximadamente un 6.9% de riesgo de complicaciones pulmonares, incluyendo hematomas en la zona quirúrgica que podrían requerir drenaje prolongado. También se pueden presentar colapsos pulmonares, neumotórax o hemotórax, mientras que las infecciones pulmonares son relativamente raras. Se han observado cambios en la capacidad pulmonar antes y después de la cirugía, con reducciones en el volumen inspiratorio y la capacidad vital forzada, especialmente en pacientes

con curvas torácicas o dobles. Un estudio ha revelado que, aunque se observan descensos en los parámetros postoperatorios, estos tienden a estabilizarse aproximadamente seis semanas después de la cirugía [5,33].

Por último, aunque raras, existen otras complicaciones, como infecciones en la herida y inflamación de la columna vertebral que pueden ocurrir durante los primeros treinta días postquirúrgicos. Estos problemas pueden manifestarse con síntomas como dolor, fiebre y supuración de la herida, siendo factores predisponentes la edad del paciente y la presencia de enfermedades asociadas, como diabetes o enfermedades reumáticas. Otros factores, como la desnutrición, un bajo nivel de calcio en suero, y la duración del drenaje y de la cirugía, pueden incrementar el riesgo de infecciones postoperatorias.

Eficacia y Resultados de la Corrección Anterior de la Escoliosis

La cirugía de Corrección Anterior de la Escoliosis idiopática ofrece una ventaja significativa al permitir la conservación de la movilidad de la columna, ya que no se fusionan ni se fijan las vértebras durante el procedimiento. Esto se traduce en una agresión quirúrgica menor, evitando la necesidad de cortar músculos y estructuras óseas, lo que hace de esta intervención una opción menos invasiva y mucho más segura.

La duración de la cirugía es aproximadamente de 230 minutos, y se ha observado que la pérdida de sangre es moderada, con un promedio de 153 ml, lo que rara vez requiere transfusiones, a diferencia de otros métodos de corrección de la escoliosis [6].

El recuperatorio suele ser menos doloroso en comparación con una cirugía convencional, lo que facilita un regreso más rápido a las actividades diarias del paciente. Postoperatoriamente, el paciente es monitorizado en cuidados intensivos durante 12 a 24 horas y se le coloca un drenaje torácico por un periodo de 24 a 48 horas para asegurar una adecuada expansión pulmonar. Al concluir la operación, el paciente es trasladado a la Unidad de Cuidados Intensivos.

En el segundo día después de la cirugía, la mayoría de los pacientes se levantan de la cama y comienzan a caminar con la asistencia de un fisioterapeuta. Tras el alta, suelen poder caminar y subir escaleras sin dificultad. En muchos casos, no se requiere el uso de un corsé en el postoperatorio, aunque se aconseja evitar movimientos bruscos, como agacharse o girar rápidamente, en etapas tempranas de recuperación. Se permite retomar la actividad deportiva aproximadamente dos meses después del procedimiento.

2 Materiales y métodos

La presente sección describe el funcionamiento del método multicriterio neutrosófico para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática. Se presentan las características generales de la solución propuesta. Se describen las principales etapas y actividades que conforman el método.

El método multicriterio neutrosófico para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática, está diseñado bajo las siguientes cualidades:

- Integración: el método garantiza la interconexión de los diferentes componentes en combinación para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática.
- Flexibilidad: utiliza 2-tuplas para representar la incertidumbre de modo que aumente la interoperabilidad de los especialistas que interactúan con el método.
- Interdependencia: el método utiliza como punto de partida los datos de entrada proporcionados por los expertos del proceso. Los resultados analizados contribuyen a una base de experiencia que conforma el núcleo del procesamiento para la inferencia.

El método se sustenta en los siguientes principios:

- Identificación mediante el equipo de expertos de los indicadores para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática.
- El empleo de métodos multicriterios en la evaluación.

El método neutrosófico propuesto está estructurado para gestionar el flujo de trabajo del proceso de evaluación a partir de un método de inferencia multicriterio. Posee tres etapas fundamentales: entrada, procesamiento y salida de información. La Figura 1 muestra un esquema que ilustra el funcionamiento general del método.

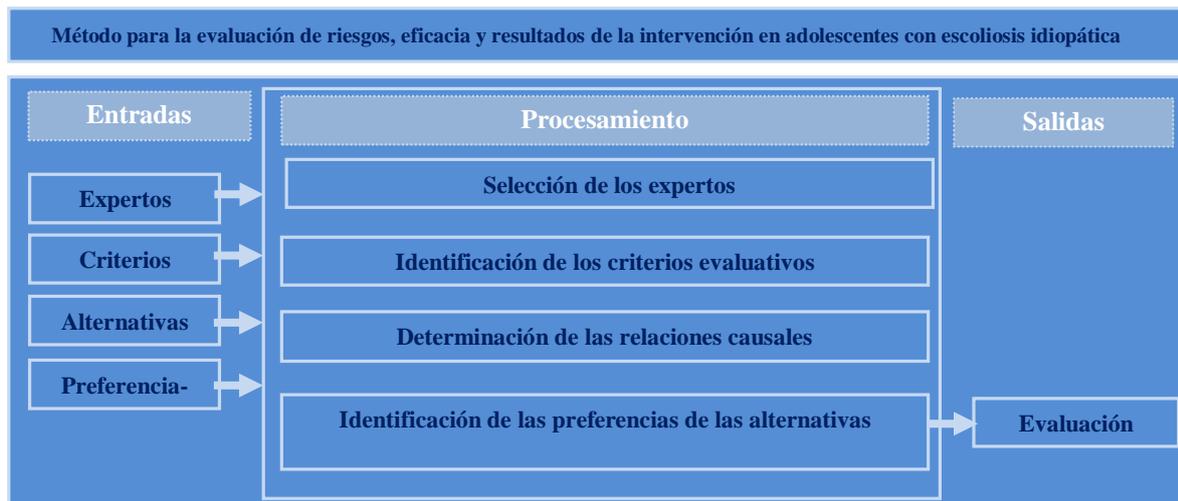


Figura 1. Esquema general del funcionamiento del método.

2.1 Descripción de las etapas del método para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática

El método propuesto está diseñado para garantizar la gestión del flujo de trabajo en el proceso de evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática. Utiliza un enfoque multicriterio multiexperto donde se identifican indicadores evaluativos para determinar el funcionamiento del procesamiento del método.

La etapa de procesamiento está estructurada por cuatro actividades que rigen el proceso de inferencia del procesamiento. A continuación se detalla su funcionamiento:

Actividad 1: Selección de los expertos.

El proceso consiste en determinar el grupo de expertos que intervienen en el proceso. Para su selección se emplea la metodología propuesta por Fernández [7]. Para comenzar el proceso se envía un modelo a los posibles expertos con una explicación breve sobre los objetivos del trabajo y el área del conocimiento en el que se enmarca la investigación. Se establece contacto con los expertos conocedores y se les pide que participen en el panel. La actividad obtiene como resultado la captación del grupo de expertos que participará en la aplicación del método.

El proceso debe filtrar los expertos con bajo nivel de experticia participando en el proceso los de mayor conocimiento y prestigio en el área del conocimiento que se enmarca el objeto de estudio de la investigación. Para realizar el proceso de filtraje se realiza un cuestionario de autoevaluación para expertos. El objetivo es determinar el coeficiente de conocimiento o información (K_c), la ecuación 1 expresa el método para determinar el nivel de experticia.

$$K_c = n(0,1) \quad (1)$$

Where:

K_c : coeficiente de conocimiento o información

n : rango seleccionado por el experto

Actividad 2 Identificación de los criterios de evaluación

Una vez identificados los expertos que intervienen en el proceso se procede a la identificación de los criterios evaluativos [8-10]. Los criterios nutren el método, representan parámetros de entrada que se utilizan en la etapa de procesamiento. A partir del trabajo en grupo de los expertos se realizan las siguientes actividades [11,34]:

1. Se envía un cuestionario a los miembros del panel y se les pide su opinión para la selección de los criterios evaluativos que sustenten la investigación. A partir de un cuestionario previamente elaborado, se obtiene como resultado el conjunto de criterios de los expertos.
2. Se analizan las respuestas y se identifican las áreas en que están de acuerdo y en las que difieren. La actividad permite realizar un análisis del comportamiento de las respuestas emitidas por los expertos y se identifican los elementos comunes.

3. Se envía el análisis resumido de todas las respuestas a los miembros del panel, se les pide que llenen de nuevo el cuestionario y que den sus razones respecto a las opiniones en que difieren. La actividad permite obtener una nueva valoración del grupo de expertos sobre el conocimiento recogido y resumido.
4. Se repite el proceso hasta que se estabilizan las respuestas [12, 13]. La actividad representa la condición de parada del método, a partir de que se estabilicen las respuestas se concluye su aplicación considerándose este el resultado general.

La actividad obtienen como resultado el conjunto de criterios evaluativos del método. Emplea un enfoque multicriterio expresado como muestra la ecuación 2.

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\} \tag{2}$$

Donde:

$$m > 1, \tag{3}$$

Actividad 3 Determinación de los pesos de los criterios.

Para determinar los pesos atribuidos a los criterios evaluativos se utiliza el grupo de expertos que intervienen en el proceso. Se les pide que determinen el nivel de importancia atribuido a los criterios evaluativos identificados en la actividad previa.

Los pesos de los criterios evaluativos son expresados mediante un dominio de valores difusos. Los conjuntos difusos dan un valor cuantitativo a cada elemento, el cual representa el grado de pertenencia al conjunto. Un conjunto difuso A es una aplicación de un conjunto referencial S en el intervalo [0, 1], tal que:

A: S → [0,1], y se define por medio de una función de pertenencia:

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1. \tag{4}$$

Para aumentar la interpretatividad en la determinación de los vectores de pesos asociados a los criterios se utilizan términos lingüísticos basados en 2-tuplas Neutrosófica [14, 15]. El uso de etiquetas lingüísticas en modelos de decisión supone, en la mayoría de los casos, la realización de operaciones con etiquetas lingüísticas. La tabla 1 muestra el conjunto de términos lingüísticos con sus respectivos valores.

Tabla 1: Dominio de valores para expresar causalidad.

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]

Una vez obtenidos los vectores de pesos de los diferentes expertos que intervienen en el proceso se realiza un proceso de agregación de información a partir de una función promedio tal como muestra la ecuación 5.

$$VA = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij}}{E} \tag{5}$$

Donde:

VA: valor agregado,

E: cantidad de expertos que participan en el proceso,

C_{ij}: vector de pesos expresado por los expertos para los criterios C.

Actividad 4 determinación de las preferencias de las alternativas.

La actividad para la determinación de las preferencias consiste en identificar el impacto que poseen los criterios evaluativos para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática[16],[17], [18]. El proceso de evaluación es realizado mediante una escala numérica de modo que se exprese el nivel de pertenencia de los indicadores [19-21]. La figura 2 muestra una gráfica con los conjuntos de

etiquetas lingüísticas utilizados.

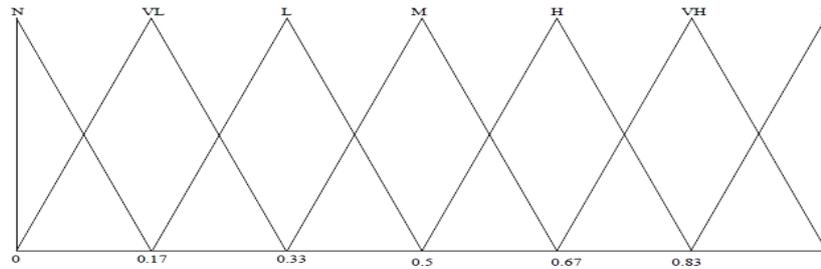


Figura 2. Conjunto de etiquetas lingüísticas.

Donde:

N: Nulo; VL: Muy Bajo; L: Bajo; M: Medio; H: Alto; VH: Muy Alto; P: Preferido

Para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática, se describe el problema y la evaluación de cada alternativa a partir del cual se forma la matriz de evaluación [12, 13]. La matriz está compuesta por las alternativas, los criterios y la valoración de cada criterio para cada alternativa.

A partir de obtener las preferencias de cada criterio evaluativo sobre el objeto de estudio, se realiza el proceso de inferencia de información. La inferencia es guiada mediante el uso de operadores de agregación de información. Se parte del conjunto de alternativas A:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\} \quad (6)$$

A las cuales se les obtienen las preferencias P:

$$P = C_1, C_n \quad (7)$$

A los criterios evaluativos se les aplica un método multicriterio para procesar las alternativas a partir de los vectores de pesos W definidos por los expertos sobre los criterios evaluativos.

$$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \quad (8)$$

El proceso de agregación se realiza con la utilización de operadores de agregación de información [14, 19]. El objetivo fundamental consiste en obtener valoraciones colectivas a partir de valoraciones individuales mediante el uso de operadores de agregación. Para el procesamiento del método propuesto se utiliza el operador de agregación OWA (*Ordered Weighted Averaging*) [22,35].

Los operadores OWA funcionan similar a los operadores media ponderada, aunque los valores que toman las variables se ordenan previamente de forma decreciente y, contrariamente a lo que ocurre en las medias ponderadas, los pesos no están asociados a ninguna variable en concreto [23,36], [24,37].

Definición 1: Dado un vector de pesos $W = w_1, w_n \in [0,1]^n$ tal que: $\sum_{i=1}^n w_i = 1$, el operador (OWA) asociado a w es el operador de agregación $f_n^w: \rightarrow R$ definido por:

$$f_n^w(u) = \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (9)$$

donde v_i es el i -ésimo mayor elemento de $\{u_1, u_n\}$

Para la presente investigación se define el proceso de agregación de la información empleado, tal como expresa la ecuación 10.

$$F(p_1, p_2, \dots, p_n) = \sum_{j=1}^n w_j b_j \quad (10)$$

Donde:

P : conjunto de preferencias obtenidas de evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática realizada.

w_j : son los vectores de pesos atribuidos a los criterios evaluativos.

b_j : es el j -ésimo más grande de las preferencias p_n ordenados.

3 Resultados y discusión

Para la implementación del método propuesto se ha realizado un estudio de caso donde se representa un instrumento enfocado hacia el caso específico que se modela. El objeto de análisis es un caso de estudio sobre para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática. A continuación se presentan las valoraciones alcanzadas por cada actividad:

Actividad 1: Selección de los expertos.

Para la aplicación del método, se aplicó un cuestionario con el objetivo de seleccionar el grupo de expertos a intervenir en el proceso. Se logró el compromiso desinteresado de 7 expertos. Se les aplicó el cuestionario de autoevaluación a los 7 expertos donde se obtuvieron los siguientes resultados:

- 5 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia sobre el tema objeto de estudio de 10 puntos.
- 1 expertos se autoevalúan con un nivel de competencia de 9 puntos.
- 1 expertos se autoevalúa con un nivel de competencia de 8 puntos.

El coeficiente de conocimiento K_c representa un parámetro importante en la aplicación del método propuesto. Para la investigación se obtienen los K_c por experto tal como refiere la tabla 2

Tabla:

Tabla 2. Coeficiente de conocimiento por expertos.

1	2	3	4	5	6	7
0,80	1	1	1	1	0,90	1

Se realizaron cuatro preguntas a los expertos con el objetivo de evaluar sus niveles de conocimiento sobre el tema. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Pregunta 1: Análisis teóricos realizados sobre el tema. De los expertos, 5 se autoevaluaron con un nivel Alto y 2 con un nivel Medio.

Pregunta 2: Estudio de trabajos publicados por autores ecuatorianos. Se obtuvieron 4 autoevaluaciones de nivel Alto, 2 de nivel Medio y 1 de nivel Bajo.

Pregunta 3: Contacto directo con casos polémicos de pronunciamiento mediático. Los resultados mostraron que 5 expertos se autoevaluaron con un nivel Alto, 1 con un nivel Medio y 1 con un nivel Bajo.

Pregunta 4: Conocimiento del estado actual de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática. Cuatro expertos se autoevaluaron con un nivel Alto, 2 con un nivel Medio y 1 con un nivel Bajo.

La figura 3 muestra una gráfica con el comportamiento de los coeficientes de conocimiento de los expertos. A partir del análisis de los resultados se determina utilizar los 7 expertos previstos inicialmente.

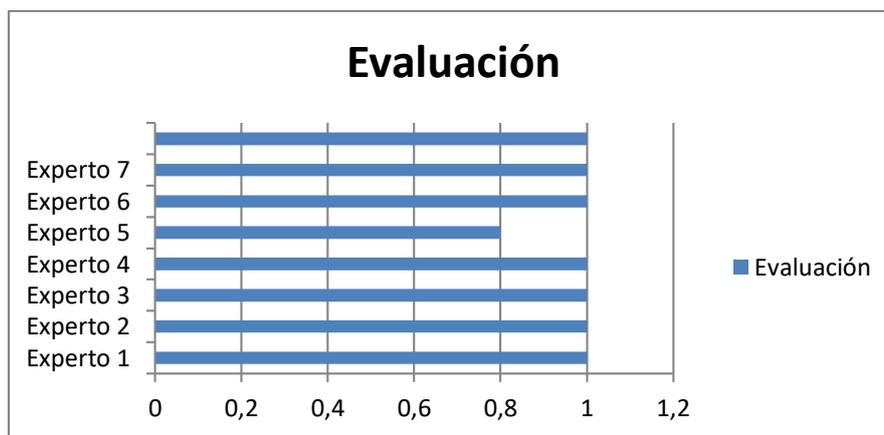


Figura 3. Representación del coeficiente de conocimiento de los expertos.

Actividad 2 Identificación de los criterios de evaluación

Para la actividad se realizó una encuesta a los expertos que intervienen en el proceso. El objetivo consistió en identificar los criterios para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática. Los indicadores constituyen el elemento fundamental sobre el cual se realiza el procesamiento en etapas siguientes. La tabla 3 visualiza los criterios evaluativos obtenidos de la actividad.

Tabla 3: Criterios evaluativos obtenidos.

ID	Criterios	Descripción
C_1	Complicaciones Quirúrgicas	Evaluar la frecuencia y gravedad de complicaciones durante y después de la cirugía, incluyendo infecciones, sangrado excesivo, daño a estructuras vecinas, y complicaciones pulmonares como neumotórax.
C_2	Mejora de la Curvatura	Medir el grado de corrección de la curvatura escoliótica pre y postoperatoriamente a través de radiografías, utilizando ángulos como el de Cobb para cuantificar los cambios.
C_3	Movilidad y Funcionalidad	Evaluar la recuperación en la movilidad de la columna vertebral post-intervención, así como la capacidad del paciente para realizar actividades diarias y participar en deportes después de la cirugía.
C_4	Control del Dolor	Analizar la intensidad y duración del dolor postoperatorio en comparación con cirugías tradicionales, examinando la necesidad de medicación para el dolor y el tiempo que toma para regresar a una rutina normal.
C_5	Satisfacción del Paciente	Recoger la experiencia del paciente a través de encuestas o entrevistas sobre su satisfacción con los resultados de la intervención, su calidad de vida y su percepción del tratamiento recibido.
C_6	Seguimiento a Largo Plazo	Evaluar el estado del paciente a lo largo del tiempo, observando la estabilidad de la corrección de la curvatura, el crecimiento y el desarrollo de nuevas complicaciones a largo plazo. Esto puede incluir evaluaciones anuales durante varios años tras la cirugía.

Actividad 3 Determinación de los pesos de los criterios

Para determinar los pesos sobre los criterios se utilizó un enfoque multiexperto, en el que participaron los 7 seleccionados en la actividad 1. Con el empleo de 2-tuplas tal como propone la tabla 1 se realizó el trabajo por el grupo de expertos. A partir de la agregación realizada mediante la ecuación 9, se unifican los pesos de los 7 expertos en un valor agregado. La tabla 4 muestra el resultado de los vectores de pesos resultantes de la actividad. Se llegó al consenso en la tercera iteración del proceso. A partir de lo cual se tomó como valor de parada.

Tabla 4: Pesos de los criterios a partir del criterio de experto.

Número	Vectores de pesos W para los criterios C
C_1	[1,0,0]
C_2	[0.9, 0.1, 0.1]
C_3	[0.8,0,15,0.20]
C_4	[0.9, 0.1, 0.1]
C_5	[0.9, 0.1, 0.1]
C_6	[1,0,0]

Actividad 4 determinación de las preferencias de las alternativas.

Para el estudio de caso propuesto, se realizó una evaluación del cumplimiento de los criterios. Se tomó como información de partida los vectores de pesos atribuidos a cada criterio evaluativo. Se evaluó el cumplimiento de los indicadores con el empleo del conjunto de etiquetas lingüísticas. Se obtuvo como resultado un sistema con valores difusos que se agregan como valores de salidas. La tabla 5 muestra el resultado del procesamiento realizado.

Tabla 5: Resultado de las evaluaciones obtenidas por los expertos.

Número	W	Preferencia	$\sum_{j=1}^n w_j b_j$
C_1	[1,0,0]	[0.8,0,15,0.20]	[0.9, 0.1, 0.1]
C_2	[0.9, 0.1, 0.1]	[1,0,0]	[0.95, 0.1, 0.1]
C_3	[0.8,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.9, 0.1, 0.1]
C_4	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.8,0,15,0.20]	[0.85,0,15,0.20]
C_5	[0.9, 0.1, 0.1]	[1,0,0]	[0.95, 0.1, 0.1]
C_6	[1,0,0]	[0.70,0.25,0.30]	[0.85,0,15,0.20]
Índice			[0.9, 0.1, 0.1]

La figura 4 muestra el comportamiento de las inferencias sobre los criterios evaluativos para el caso de estudio propuesto.

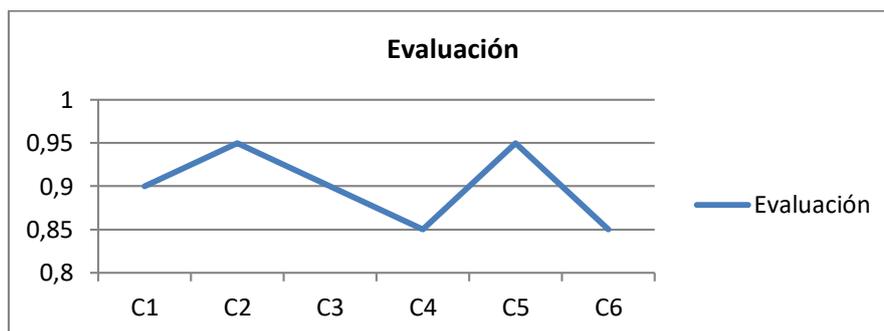


Figura 4. Comportamiento de las inferencias.

Con base en los datos presentados en la tabla 5, se puede observar un índice del método multicriterio neutrosófico para evaluar los riesgos, la eficacia y los resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática, obteniendo un valor de Π de 0,90. Este resultado se clasifica como un índice alto, lo que indica que el caso analizado presenta una evaluación significativa en términos de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática.

4 Discusión

Según Almahmoud et al.,[25] la escoliosis idiopática representa la mayor parte de los casos de escoliosis en adolescentes con edades entre los 13 y 18 años, aunque esta afección puede manifestarse en niños más pequeños. La prevalencia de esta enfermedad está relacionada con diversos factores, como la actividad física y el índice de masa corporal, siendo el riesgo genético el principal causante asociado a esta condición.

Zhang et al. [26] indican que la intervención quirúrgica de Corrección Anterior de la Escoliosis es un tratamiento efectivo para corregir la curvatura vertebral, especialmente recomendado para adolescentes con escoliosis severa. De manera similar, Pehlivanoglu et al. [27] señalan que esta técnica puede aplicarse a pacientes jóvenes con curvaturas esqueléticamente inmaduras, permitiendo no solo la corrección de la deformidad escoliótica, sino también modulando el crecimiento durante este proceso.

En cuanto a los riesgos asociados, Yang et al.[28] advierten que una de las principales complicaciones de la Corrección Anterior de la Escoliosis es la posible rotura del anclaje en el cuerpo vertebral, la cual puede ocurrir debido a una sobrecorrección de la curvatura. Este tipo de lesión tiende a presentarse con mayor frecuencia en la zona torácica y lumbar, siendo las roturas lumbares las más comunes.

También se deben considerar las complicaciones pulmonares. Baroncini et al.[29] Mencionan que después de una cirugía de corrección anterior, existe la posibilidad de presentar neumotórax o hemotórax, aunque estos eventos son bastante infrecuentes. Además, se ha observado una disminución en la capacidad pulmonar total tras el procedimiento, así como en el volumen espiratorio forzado en el primer segundo, en comparación con los niveles preoperatorios.

Respecto a la eficacia y los resultados de este procedimiento, Cuddihy et al. [30]Indican que la Corrección Anterior de la escoliosis ayuda a mantener la movilidad de la columna, presentándose como una opción menos riesgosa e invasiva que otros tipos de intervenciones. En concordancia con esta afirmación, Baroncini et al. [29] Destacan que en esta cirugía la pérdida de sangre es mínima y que el proceso postoperatorio tiende a ser menos doloroso para el paciente.

5 Conclusión

A partir de la implementación del método propuesto, se obtienen vectores de pesos de agregación para la evaluación de riesgos, eficacia y resultados de la intervención en adolescentes con escoliosis idiopática. Se obtuvo como resultado del método la participación desinteresada de 7 expertos de los cuales todos contribuyeron con la investigación a partir de su coeficiente de competencia para la implementación del método propuesto.

La cirugía de Corrección Anterior de la Escoliosis se ha convertido en la opción preferida para el tratamiento de la escoliosis idiopática en adolescentes con curvaturas superiores a 45° , según el ángulo de Cobb. Este procedimiento quirúrgico es menos invasivo en comparación con otras técnicas utilizadas para corregir la escoliosis, lo que permite mantener la movilidad de la columna como una de sus principales ventajas.

Además, la tasa de complicaciones asociadas a esta cirugía es baja, siendo poco frecuentes los eventos adversos, aunque la rotura de los anclajes en la columna es la principal preocupación a evaluar.

La Corrección Anterior de la Escoliosis se presenta como una técnica prometedora que merece una mayor atención y análisis en el futuro. A pesar de los buenos resultados que ha demostrado hasta ahora, aún es un procedimiento relativamente nuevo y poco conocido por muchos cirujanos. Por esta razón, es fundamental fomentar la investigación adicional en este campo para evidenciar de manera más contundente los beneficios que se están logrando con esta intervención médica.

Referencias

- [1] J. S. e. L. Schleder, J. L. d. Santos, M. C. Lima, S. Mistro, A. F. Rosa, W. Pasqualini, M. A. Tebet, P. T. M. Cavali, and M. I. Risso, "Adolescent idiopathic scoliosis: progression of untreated cases," *Coluna/Columna*, vol. 22, no. 2, pp. e262590, 2023.
- [2] A. L. Kuznia, A. K. Hernandez, and L. U. Lee, "Adolescent idiopathic scoliosis: common questions and answers," *American family physician*, vol. 101, no. 1, pp. 19-23, 2020.
- [3] D. Addai, J. Zarkos, and A. J. Bowey, "Current concepts in the diagnosis and management of adolescent idiopathic scoliosis," *Child's Nervous System*, vol. 36, pp. 1111-1119, 2020.
- [4] P. D. Trobisch, P. Kobbe, and A. Baroncini, "Dynamic scoliosis correction as alternative treatment for patients with adolescent idiopathic scoliosis: a non-fusion surgical technique," *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*, vol. 158, no. 06, pp. 641-646, 2020.
- [5] L. Xu, W. Luan, Y. Wang, X. Sun, Z. Liu, B. Qian, Y. Qiu, and Z. Zhu, "Improvement of pulmonary function in arthrogryposis multiplex congenita patients undergoing posterior spinal fusion surgery for concomitant scoliosis: a minimum of 3-year follow-up," *World Neurosurgery*, vol. 157, pp. e424-e431, 2022.
- [6] I. A. STEPANOV, V. A. E. BELOBORODOV, M. A. E. SHAMEEVA, and E. B. BORISOV, "A scoring system to predict the risk of surgical site infections after spinal surgery," *Coluna/Columna*, vol. 20, pp. 212-216, 2021.
- [7] S. H. d. M. Fernández. "Criterio de expertos. Su procesamiento a través del método Delphy," http://www.ub.edu/histodidactica/index.php?option=com_content&view=article&id=21:criterio-de-expertos-su-procesamiento-a-traves-del-metodo-delphy&catid=11.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] B. B. Fonseca, K. M. Kelly, and W. S. Grass, "Sistema informático para la gestión de reportes de incidencias de mantenimiento en la Facultad de Ciencias y Tecnologías Computacionales," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 12, no. 6, pp. 40-54, 2019.
- [12] 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.
- [13] Y. Martínez, A. Nowé, J. Suárez, and R. Bello, "A reinforcement learning approach for the flexible job shop scheduling problem." pp. 253-262.
- [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] F. Smarandache, "Neutrosofía y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [16] M. Y. L. Vázquez, J. E. Ricardo, and N. B. Hernández, *La Neutrosofía como herramienta para abordar la vaguedad lingüística en el análisis de textos de dilemas ético: Infinite Study*, 2024.
- [17] 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.
- [18] M. L. Vázquez, J. E. Ricardo, and F. Smarandache, *Enhancing set-theoretic research methods with neutrosophic sets: Infinite Study*, 2024.
- [19] 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.
- [20] J. P. Ramos-Carpio, O. J. A. Machado, J. E. Ricardo, and A. B. M. Vasquez, "Assessing Higher Education's Role in Personality Formation Using NeutroAlgebra," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 71, pp. 50-57, 2024.

- [21] J. E. Ricardo, A. J. Fernández, and M. Y. Vázquez, "Compensatory Fuzzy Logic with Single Valued Neutrosophic Numbers in the Analysis of University Strategic Management," *International Journal of Neutrosophic Science (IJNS)*, vol. 18, no. 4, 2022.
- [22] R. R. Yager, and D. P. Filev, "Induced ordered weighted averaging operators," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 29, no. 2, pp. 141-150, 1999.
- [23] L. Jin, R. Mesiar, and R. Yager, "Ordered weighted averaging aggregation on convex poset," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 27, no. 3, pp. 612-617, 2019.
- [24] M. Y. L. Vázquez, N. B. Hernández, J. E. Ricardo, and J. F. G. García, "Aplicación de análisis de sentimientos y enfoques neutrosóficos para la comprensión de información textual en la investigación," *Revista Conrado*, vol. 19, no. 94, pp. 294-300, 2023.
- [25] O. H. Almahmoud, B. Baniodeh, R. Musleh, S. Asmar, M. Zyada, and H. Qattousah, "Overview of adolescent idiopathic scoliosis and associated factors: a scoping review," *International Journal of Adolescent Medicine and Health*, vol. 35, no. 6, pp. 437-441, 2023.
- [26] H. Zhang, Y. Fan, S. Ni, and G. Pi, "The preliminary outcomes of vertebral body tethering in treating adolescent idiopathic scoliosis: A systematic review," *Spine Deformity*, vol. 10, no. 6, pp. 1233-1243, 2022.
- [27] T. Pehlivanoglu, I. Oltulu, E. Ofluoglu, E. Sarioglu, G. Altun, M. Korkmaz, K. Yildirim, and M. Aydogan, "Thoracoscopic vertebral body tethering for adolescent idiopathic scoliosis: a minimum of 2 years' results of 21 patients," *Journal of Pediatric Orthopaedics*, vol. 40, no. 10, pp. 575-580, 2020.
- [28] M. J. Yang, A. F. Samdani, J. M. Pahys, A. Quinonez, M. McGarry, H. Grewal, and S. W. Hwang, "What happens after a vertebral body tether break? Incidence, location, and progression with five-year follow-up," *Spine*, vol. 48, no. 11, pp. 742-747, 2023.
- [29] A. Baroncini, P. D. Trobisch, and F. Migliorini, "Learning curve for vertebral body tethering: analysis on 90 consecutive patients," *Spine Deformity*, vol. 9, pp. 141-147, 2021.
- [30] L. A. Cuddihy, M. D. Antonacci, K. S. Vig, A. K. Hussain, D. Leven, and R. R. Betz, "Progressive double major scoliotic curve with concurrent lumbosacral spondylolisthesis in a skeletally immature patient with Marfan syndrome treated with anterior scoliosis correction," *Spine Deformity*, vol. 8, pp. 139-146, 2020.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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
- [35] 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.
- [36] 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
- [37] 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 17, 2025. Aceptado: marzo 07, 2025