Neutrosophic Computing and Machine Learning, Vol. 37, 2025
University of New Mexico

Método neutrosófico para evaluar un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para el reemplazo de los actuales materiales que conforman las puertas en los vehículos

Neutrosophic method to evaluate a new polypropylene and hemp composite material for the replacement of current door materials in vehicles

Vinicio Sebastián Ribadeneira Ramírez [1], Juan Diego Zurita Vargas [2], and Antonio Gabriel Castillo Medina [3]

[1] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. ua.viniciorr76@uniandes.edu.ec
[2] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. ua.juanzv40@uniandes.edu.ec
[3] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. ua.antoniocm83@uniandes.edu.ec

Resumen. La selección de nuevos materiales para reemplazar los actuales que conforman las puertas de vehículos es esencial para mejorar la eficiencia energética, reducir costos y minimizar el impacto ambiental. En este contexto, el objetivo de la investigación es implementar un método neutrosófico para evaluar los materiales más convenientes en esta aplicación. La metodología neutrosófica, que se basa en la teoría de conjuntos neutrosóficos, permite abordar la incertidumbre y la imprecisión en la evaluación de materiales. Este enfoque facilitará la integración de diversas variables cualitativas y cuantitativas, como el costo, la resistencia mecánica, la durabilidad y el impacto ambiental de los materiales, permitiendo una clasificación más completa y realista de las opciones seleccionadas. Los materiales candidatos incluyen aleaciones de metales ferrosos y no ferrosos, polímeros termoplásticos y compuestos, que han demostrado ser más ligeros y, en muchos casos, superiores en rendimiento comparados con el acero YS170. A través de la asignación de funciones de evaluación neutrosófica a estos materiales, se logrará un análisis multidimensional, donde se considerarán las preferencias y restricciones específicas del diseño. Al final del proceso, este enfoque permitirá identificar un conjunto optimizado de materiales que cumplan con los requisitos de diseño y funcionalidad, contribuyendo así a la evolución sostenible de la industria automotriz y al desarrollo de puertas de vehículos más eficientes y seguras.

Palabras Claves: método neutrosófico multicriterio, nuevos materiales, sintetizador, auditoría ecológica, menor costo, máxima resistencia mecánica, seguridad automotriz

Abstract. The selection of new materials to replace the current ones used in vehicle doors is essential to improve energy efficiency, reduce costs, and minimize environmental impact. In this context, the objective of this research is to implement a neutrosophic method to evaluate the most suitable materials for this application. The neutrosophic methodology, which is based on neutrosophic set theory, addresses uncertainty and imprecision in material evaluation. This approach will facilitate the integration of various qualitative and quantitative variables, such as cost, mechanical strength, durability, and environmental impact, allowing for a more complete and realistic ranking of the selected options. Candidate materials include ferrous and non-ferrous metal alloys, thermoplastic polymers, and composites, which have been shown to be lighter and, in many cases, superior in performance compared to YS170 steel. By assigning neutrosophic evaluation functions to these materials, a multidimensional analysis will be achieved, taking into account specific design preferences and constraints.
At the end of the process, this approach will identify an optimized set of materials that meet the design and functional requirements, thus contributing to the sustainable evolution of the automotive industry and the development of more efficient and safer vehicle doors.

Keywords: multicriteria neutrosophic method, new materials, synthesizer, green audit, lower cost, maximum mechanical strength, automotive safety

1 Introducción

La industria automotriz se enfrenta a un constante desafío en la búsqueda de mejoras en la producción, reducción de costos y peso, sin comprometer la durabilidad de los componentes. En el contexto específico de las puertas de vehículos, es fundamental realizar un análisis exhaustivo de los materiales actualmente utilizados y explorar alternativas que optimicen la relación peso-costo. Según [1], la composición de las puertas, que generalmente incluye aleaciones ferrosas como el acero YS170, desempeña un papel crucial en el rendimiento del vehículo, así como en su eficiencia de combustible. La reducción del peso no solo contribuye al ahorro de combustible, sino que también puede mejorar la eficiencia energética general del automóvil.

En la última década, ha crecido el uso de poliolefinas termoplásticas (TPO), como el polipropileno, en la industria automotriz, destacándose por sus ventajas en desempeño y seguridad. Este cambio en el material de fabricación ha llevado a un aumento notable en su aplicación. Por ejemplo, el porcentaje de parachoques fabricados con TPO pasó del 9% en 1995 al 67% en 2005, a expensas de otros plásticos tradicionales, como policarbonatos y tereftalatos de polibutileno, cuya producción disminuyó. Estas cifras reflejan una tendencia hacia la selección de materiales que no solo son más ligeros, sino que también ofrecen mejores propiedades físicas y mecánicas, que son esenciales en la arquitectura automotriz.

La selección de nuevos materiales para las puertas de vehículos debe considerar no solo las propiedades mecánicas y físicas, sino también la sostenibilidad ambiental durante su producción. Como señala [2], una opción es adoptar materiales cuya síntesis genera un menor impacto ambiental. En este sentido, se pueden considerar materiales de diferentes familias, incluyendo metálicos como el aluminio, plásticos como el polipropileno, y compuestos que combinan las mejores características de varios tipos de materiales. Sin embargo, es necesario evaluar cómo se comportan estos nuevos materiales en comparación con alternativas tradicionales, como el acero.

Desde un punto de vista económico, [3] menciona la importancia de desarrollar modelos de costo que consideren todos los aspectos del proceso de producción. Esto es especialmente relevante en Ecuador, donde la falta de industria local en la producción de componentes automotrices significa que debemos basar los costos en el análisis del mercado comercial de repuestos y autopartes. Un análisis detallado sobre el costo-beneficio de los diferentes materiales es crucial para determinar cuáles ofrecen la mejor relación entre precio, peso y rendimiento funcional.

Dado el amplio rango de 4.182 materiales clasificados en diferentes familias, la preselección debe enfocarse en materiales que cumplan con los requisitos estructurales y de resistencia, sobre todo en aplicaciones que requieren una alta capacidad de absorción de impactos, como las puertas de vehículos. Las familias de materiales que podrían ser consideradas (Figura 1) incluyen cerámicas técnicas, metales y aleaciones, composites, y plásticos, entre otros, cada uno con sus propias ventajas y desventajas en términos de costo, peso y sustentabilidad.

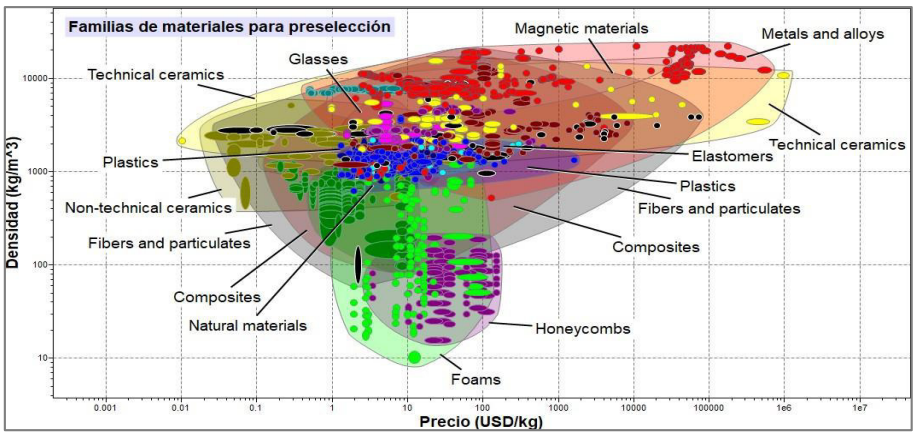

Figura 1. Agrupamiento de familias de materiales según la estructura molecular según con la función Densidad vs. Precio.
Fuente: [4]

En esta investigación se busca seleccionar los mejores materiales en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas para aplicaciones automotrices con el objetivo de reducir los costos de producción y aumentar la eficiencia energética por la relación peso – potencia de un vehículo. Para realizar la preselección de las familias de materiales idóneas para iniciar la investigación se debe considerar los materiales que actualmente conforman el elemento automotriz, en este caso se selecciona las puertas de vehículos por ser el elemento que este sujeto a diferentes tipos de impactos externos y en caso de colisiones con gran deformación, se pueden convertir en elementos peligrosos para los ocupantes. La investigación sobre nuevos materiales para las puertas de vehículos debe abordar tanto la eficacia en la funcionalidad como el costo y el impacto ambiental. Esta proyección no solo afectará la producción

automotriz, sino que también contribuirá a avances importantes en la reducción de emisiones y en la sostenibilidad de la industria en general.

2 Preliminares

La selección de materiales en ingeniería es una actividad clave para garantizar que los componentes, como las puertas de vehículos, cumplan con los requisitos funcionales y de rendimiento esperados. Según [5], se debe seguir un proceso estructurado que descomponga el problema en varias etapas. Este enfoque permite un análisis detallado que optimiza la selección de materiales en función de varios criterios, tal como muestra la figura 2:

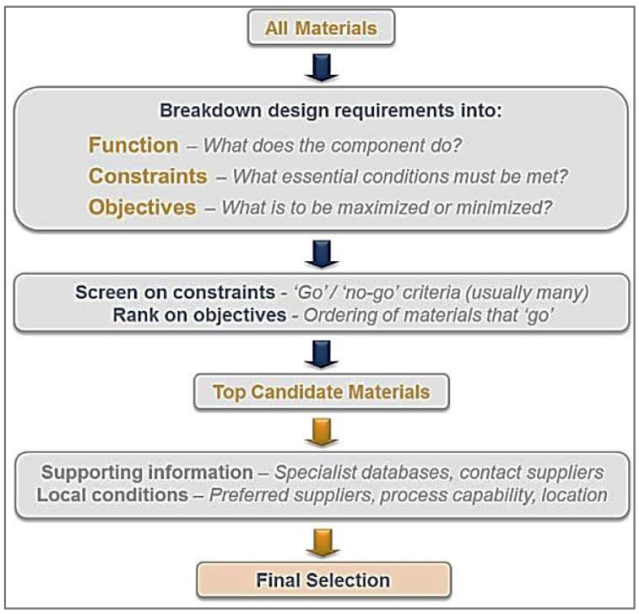

Figura 2. Metodología para la selección de materiales en ingeniería [5].

La primera etapa es desglosar los requisitos de diseño, que se organizan en tres elementos esenciales: función, restricciones y objetivos. En cuanto a la función, es vital definir claramente qué rol desempeña el componente dentro del vehículo. Las restricciones son condiciones que los materiales deben cumplir para su correcta implementación; por ejemplo, en el caso de las puertas de un automóvil, la resistencia a la temperatura y propiedades mecánicas específicas son fundamentales. Finalmente, los objetivos se centran en maximizar o minimizar ciertas propiedades, como el peso, el costo o la durabilidad del material [6].

La evaluación de las restricciones es crítica, ya que se establece un sistema de criterios de aprobar o no aprobar materiales que no cumplen con los requisitos fundamentales. Este proceso de clasificación facilita la priorización de candidatos para el uso en paneles de puertas, limitando la selección a aquellos materiales que realmente son viables.

La recopilación de información de apoyo es otra actividad importante en el proceso de selección de materiales. Esto incluye acceder a bases de datos especializadas y conectarse con proveedores que ofrezcan acceso a materiales adecuados y confiables. También es relevante tener en cuenta las condiciones locales que impactan la disponibilidad y capacidad del proceso de producción, así como la ubicación de los proveedores preferidos en la región.

Al realizar un análisis realista de los materiales disponibles, es evidente que no todos los materiales avanzados son adecuados para la fabricación de paneles de puertas. Por ejemplo, los materiales cerámicos son inadecuados debido a su fragilidad, y las espumas, fibras y partículas no ofrecen la resistencia estructural necesaria. Por ello, se recomienda centrarse en una selección inicial que abarque exclusivamente las aleaciones de metales ferrosos (aceros) y no ferrosos (metales ligeros), así como polímeros termoplásticos y compuestos. Esta estrategia reduce el número de opciones viables a 2,444 de un total de 4,249 materiales disponibles, facilitando la identificación de los candidatos más adecuados.

Durante el proceso de selección de materiales, se deben establecer restricciones específicas relacionadas con el rendimiento térmico y mecánico. Por ejemplo, las condiciones térmicas deben considerar la resistencia a la temperatura, que varía entre -15°C y +90°C. Se deben evaluar criterios como punto de fusión, temperatura máxima y mínima de servicio, y conductividad térmica, que son cruciales para el desempeño del material en condiciones cambiantes [7].

En el ámbito de las propiedades mecánicas, resulta esencial establecer un límite de resistencia a la fluencia o límite elástico superior a 22.4 MPa, junto con otras propiedades como el módulo de Young, la verdadera tensión-deformación plástica, resistencia a la tracción, dureza y resistencia a la fatiga. Factores como la rigidez específica, el alargamiento y la energía elástica almacenada también son relevantes para asegurar la integridad estructural de las puertas ante impactos [8].

La selección de las familias de materiales para los paneles de puertas de automóviles debe realizarse teniendo en cuenta parámetros específicos que reflejen las restricciones establecidas previamente. A partir de un análisis comparativo, es posible utilizar métodos estadísticos, como la curva decreciente de distribución de Pareto, para identificar los materiales más adecuados en relación con el uso común del acero YS170 en la industria automotriz.

En este proceso, se destacan diversos tipos de materiales, incluyendo termoplásticos, compuestos y aleaciones de metales ferrosos y no ferrosos. Los polímeros, particularmente los polipropilenos, emergen como opciones atractivas, especialmente aquellos con un 40% de contenido de talco, que a pesar de tener un costo ligeramente superior, ofrecen una significativa reducción de peso. Por otro lado, las fibras de vidrio de poliéster son reconocidas por su mayor ligereza y menor costo, aunque su acabado superficial puede ser inferior en comparación con otras alternativas [9-25].

Entre las aleaciones metálicas, el magnesio y sus compuestos son valorados por su bajo peso, aunque su costo suele ser elevado. En el rango de materiales avanzados, las fibras de carbono con resinas epoxídicas presentan el beneficio de un peso muy bajo; sin embargo, su alto costo puede limitar su viabilidad para aplicaciones en puertas de vehículos. Además, los compuestos de berilio son descartados debido a su alta toxicidad y costo.

Antes de decidir la selección final de materiales, es crucial explorar la posibilidad de sintetizar nuevos compuestos combinando materiales de diferentes familias. Considerando el polipropileno como la matriz base y el cáñamo como una fibra quasi-isotrópica, se busca crear compuestos innovadores que ofrezcan un equilibrio entre rendimiento y costo. Este enfoque promueve la creación de un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo, que se muestra en la figura 3:

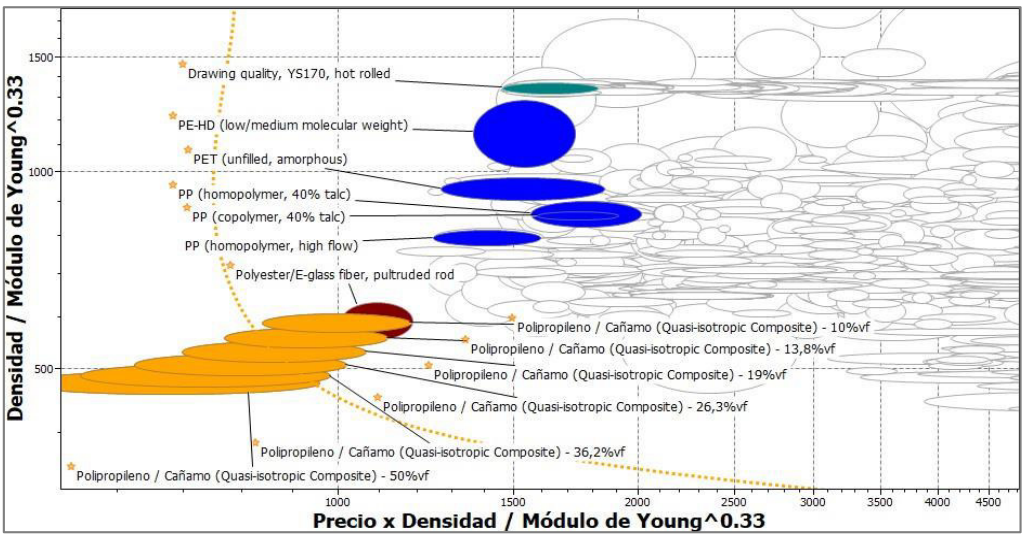

Figura 3. Resultado de la sintetización del nuevo material compuesto polipropileno y cáñamo.

El desarrollo de estas combinaciones permite evaluar diferentes propiedades y optimizar el rendimiento de los paneles de puertas en términos de coste, peso y funcionalidad. Al aplicar el enfoque de la curva de Pareto, se pueden identificar y priorizar los mejores materiales, asegurando así que la selección final no solo sea técnica y económicamente viable, sino también alineada con las tendencias actuales en la sostenibilidad y desarrollo de productos innovadores en la industria automotriz. La selección de materiales para paneles de puertas de automóviles debe ser un proceso meticuloso y fundamentado. Siendo necesario identificar y valorar adecuadamente los materiales que maximizan el rendimiento, garantizando al mismo tiempo la viabilidad económica y la sostenibilidad ambiental de los componentes automotrices.

3 Diseño del método neutrosófico multicriterio para evaluar un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para paneles de puertas de automóviles

Actividad 1: Identificación los indicadores de evaluación

Representa el conjunto de criterios que se evalúan sobre la efectividad, utilidad y eficacia de un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para paneles de puertas de automóviles. El conjunto de criterios representan un parámetro de entrada del método propuesto, se sustenta mediante un enfoque multicriterio formalizado como:

$C = \{c_1, \dots c_n\}$, n ≥ 2, indicadores que representan los criterios evaluativos.

Actividad 2: Determinación los pesos de los criterios evaluativos

En esta actividad se determinan los vectores de pesos asociados a los criterios. Representa un parámetro para el proceso de inferencia [10-24]. Se basa en un enfoque multiexperto de modo que:

$E = \{e_1, \dots e_m\}$, $m \geq 2$, donde E, representa los expertos que determinan los vectores de pesos asociados a los criterios evaluativos.

Actividad 3: Evaluación de los criterios

La actividad representa el procesamiento del método de inferencia para evaluar un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para paneles de puertas de automóviles. El procesamiento de los datos se realiza mediante la ponderación lineal neutrosófica [11, 12, 22, 23] que constituye un método multicriterio. La ponderación lineal neutrosófica representa una alternativa a los métodos multicriterios clásicos. El método consiste en calcular una puntuación global r_i para cada alternativa A_i tal como expresa la ecuación 1.

$$R_i = \sum_j W_j \, r_{ij} \tag{1}$$

La ponderación lineal representa un método compensatorio, se aplica posterior a una normalización previa. El método es aplicado en casos donde se posee un conjunto m de alternativas y *n* criterios. Para cada criterio *j* el decisor estima cada alternativa *i*. Se obtiene la evaluación a_{ij} de la matriz de decisión que posee una ponderación cardinal ratio . Se asigna un peso $W_j(j = 1, n)$ también del tipo cardinal ratio para cada uno de los criterios C_j.

En el contexto de los métodos multicriterio, se introducen los números neutrosóficos con el objetivo de representar la neutralidad [13-21]. Constituye las bases de teorías matemáticas que generalizan las teorías clásicas y difusas tales como los conjuntos neutrosóficos y la lógica neutrosófica [12, 14, 20]. Un número neutrosófico (N) se representa de la siguiente forma [15]:

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

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

Donde:

T: representa la dimensión del espacio que representa la verdad,

I: representa la falsedad,

F: representa la indeterminación.

Matemáticamente se puede definir un método de Ponderación Lineal Neutrosófico como una 3-tupla (R,W,r) tal como representa la ecuación 3.

$$R_{i(T,I,F)} = \sum_j W_{j(T,I,F)} \, r_{ij(T,I,F)} \tag{3}$$

Donde:

- $R_{i(T,I,F)}$: representa la función resultante que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F).
- $W_{j(T,I,F)}$: representa el peso del criterio $_j$ asociados a los criterios que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F).
- $r_{ij:}$ representa la evaluación de la alternativa i respecto al criterio j que refiere una dimensión del espacio verdad, falsedad e indeterminación (T, I, F).

4 Resultados y discusión

A continuación se realiza una descripción de la corrida por etapa del Método neutrosófico multicriterio para evaluar un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para paneles de puertas de automóviles. Se realizará en vehículos de turismo de prueba equipados con puertas con este material.

Actividad 1: Identificación los criterios evaluativos

Para la identificación de criterios que evalúen el nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para paneles de puertas de automóviles, se consultó a un panel de expertos compuesto por profesionales de diversas áreas relevantes. Este panel incluye ingenieros de materiales, diseñadores automotrices, expertos en sostenibilidad, así como economistas especializados en la industria automotriz. Cada miembro del panel aporta una perspectiva única, facilitando un enfoque multidisciplinario que es crucial para la evaluación neutrosófica. Los ingenieros de materiales se encargan de analizar las propiedades mecánicas y térmicas del nuevo compuesto, mientras que los diseñadores automotrices examinan su viabilidad estética y funcional en el contexto de un vehículo. Los expertos en sostenibilidad evalúan el impacto ambiental del uso de cáñamo y polipropileno, considerando factores como la producción y el reciclaje, y los economistas aportan análisis sobre costos y beneficios económicos en comparación con materiales tradicionales. La tabla 1 muestra los criterios resultantes.

Tabla 1: Criterios evaluativos definidos por el panel de expertos.

No	Criterio
C_1	Peso: Se evalúa la masa del material compuesto, ya que la reducción de peso en las puertas puede impactar significativamente en la eficiencia del combustible del vehículo.
C_2	Costo de materiales: Análisis del costo de adquisición del polipropileno y cáñamo en comparación con materiales convencionales como el acero y el aluminio.
C_3	Resistencia a la tracción: Medición de la capacidad del material para resistir fuerzas de tracción antes de que ocurra la ruptura.
C_4	Rigidez: Se refiere a la resistencia del material a la deformación bajo carga, crucial para mantener la integridad estructural de las puertas.
C_5	Durabilidad: Evaluación de la resistencia del compuesto a condiciones ambientales adversas y su capacidad para mantener propiedades mecánicas a lo largo del tiempo.
C_6	Impacto ambiental: Análisis del ciclo de vida del material, incluyendo su producción, uso y reciclaje, para determinar su huella ecológica.
C_7	Propiedades térmicas: Evaluación de la resistencia a la temperatura y la conducta del material ante variaciones térmicas, que afectan la funcionalidad de las puertas.
C_8	Facilidad de Fabricación: Análisis de la viabilidad y eficiencia de los procesos de fabricación requeridos para producir componentes de puertas con este material.
C_9	Resistencia al impacto: Se evalúa la capacidad del material para absorber energía durante un choque, fundamental para la seguridad del vehículo.
C_{10}	Acabado superficial: Consideración de la calidad estética y técnica del acabado final, que impacta en la percepción del cliente y en la calidad del producto.
C_{11}	Compatibilidad con otros materiales: Evaluación de cómo el compuesto se integra y interactúa con otros materiales usados en la fabricación de vehículos.
C_{12}	Módulo de elasticidad: Medida de la relación entre tensión y deformación, relevante para determinar el comportamiento del material bajo carga.
C_{13}	Tenacidad: Capacidad del material para absorber energía y deformarse plásticamente, evitando fracturas bajo carga extrema.
C_{14}	Estabilidad dimensional: Evaluación de cómo el material reacciona a cambios ambientales que afectan su forma y tamaño.
C_{15}	Comportamiento frente a la fatiga: Análisis de la resistencia del material a ciclos repetidos de carga y descarga, lo que afecta su longevidad.
C_{16}	Propiedades acústicas: Evaluación de cómo el material contribuye a la reducción del ruido en el interior del vehículo.
C_{17}	Reciclabilidad: Consideración de la facilidad con la que el material puede ser reciclado al final de su vida útil, contribuyendo a la sostenibilidad.
C_{18}	Aceptación del Mercado: Evaluación de la percepción del consumidor sobre el material y su disposición a aceptar vehículos con puertas hechas de este compuesto.

Actividad 2: Determinación los pesos de los criterios evaluativos

La actividad emplea un enfoque multiexperto para la determinación de los vectores de pesos asociados a los criterios para evaluar un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para paneles de puertas de automóviles. La actividad representa la base para el procesamiento de las inferencias. La escala de términos lingüísticos a utilizar se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Escala de términos lingüísticos.

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 3 muestra el resultado de los vectores de pesos atribuidos a los criterios evaluativos.

Tabla 3: Pesos asociados a los criterios evaluativos.

Criterios evaluativos	Pesos neutrosófico asociados
C_1	(0.70,0.25,0.30)
C_2	(0.8,0,15,0.20)
C_3	(0.9, 0.1, 0.1)
C_4	(0.70,0.25,0.30)
C_5	(1,0,0)
C_6	(0.8,0,15,0.20)
C_7	(0.9, 0.1, 0.1)
C_8	(1,0,0)
C_9	(0.8,0,15,0.20)
C_{10}	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{11}	(0.70,0.25,0.30)
C_{12}	(0.8,0,15,0.20)
C_{13}	(0.70,0.25,0.30)
C_{14}	(1,0,0)
C_{15}	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{16}	(0.8,0,15,0.20)
C_{17}	(0.70,0.25,0.30)
C_{18}	(0.8,0,15,0.20)

Actividad 3: Evaluación de los criterios para un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para paneles de puertas de automóviles

Para obtener los resultados a partir de los métodos propuestos se hace uso de la Neutrosofía y en particular de la escala lingüística, S, $v_{kj} \in S$, donde; $S=\{s_1,\ldots,s_g\}$ es el conjunto de término lingüísticos definidos para evaluar las características c_k utilizando los números Neutrosóficos de Valor Único (SVN), para el análisis de los términos lingüísticos resultantes. El análisis se realiza a partir de la escala de términos lingüísticos y los resultados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Tabla para determinar las preferencias sobre los criterios evaluativos.

Criterios evaluativos	Valor Neutrosófico
C_1	(1,0,0)
C_2	(0.70,0.25,0.30)
C_3	(0.9, 0.1, 0.1)
C_4	(0.9, 0.1, 0.1)
C_5	(0.9, 0.1, 0.1)
C_6	(0.70,0.25,0.30)
C_7	(0.9, 0.1, 0.1)
C_8	(0.9, 0.1, 0.1)
C_9	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{10}	(1,0,0)
C_{11}	(1,0,0)
C_{12}	(1,0,0)
C_{13}	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{14}	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{15}	(1,0,0)
C_{16}	(1,0,0)
C_{17}	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{18}	(1,0,0)

A partir de la Ponderación Lineal Neutrosófica propuesta para el método, se realiza el cálculo para evaluar un nuevo material compuesto polipropileno y cañamo para el reemplazo de los actuales materiales que conforman las puertas en los vehículos. La tabla 5 nuestra los datos y el resultado del procesamiento a partir del cálculo de la ecuación 3.

Tabla 5: Resultados del procesamiento.

Criterios	Valor neutrosófico de preferencia	Vector de peso neutrosófico	Inferencia
C_1	(0.70,0.25,0.30)	(1,0,0)	(0.85,0,15,0.20)
C_2	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.70,0.25,0.30)	(0.8,0,15,0.20)
C_3	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)
C_4	(0.70,0.25,0.30)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.8,0,15,0.20)
C_5	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)
C_6	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.70,0.25,0.30)	(0.8,0,15,0.20)
C_7	(0.70,0.25,0.30)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.8,0,15,0.20)
C_8	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.8,0,15,0.20)
C_9	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{10}	(0.70,0.25,0.30)	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{11}	(0.9, 0.1, 0.1)	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{12}	(0.9, 0.1, 0.1)	(1,0,0)	(0.85,0,15,0.20)
C_{13}	(0.70,0.25,0.30)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.95, 0.1, 0.1)
C_{14}	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.9, 0.1, 0.1)	(1,0,0)
C_{15}	(0.9, 0.1, 0.1)	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)
C_{16}	(0.70,0.25,0.30)	(1,0,0)	(0.85,0,15,0.20)
C_{17}	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.95, 0.1, 0.1)
C_{18}	(1,0,0)	(1,0,0)	(0.85,0,15,0.20)
Inferencia RYGB			(0.86, 0.1, 0.1)

A partir de la inferencia obtenida, se concluye que la evaluación nuevo material compuesto polipropileno y

cañamo para paneles de puertas de automóviles, es Bueno, con un índice de 0.86.

5 Discusión

Tradicionalmente, la selección de materiales en ingeniería ha estado basada en la experiencia y el juicio de expertos o proveedores. Aunque este enfoque ha dado resultados satisfactorios en ocasiones, es necesario avanzar hacia metodologías más sistemáticas que garanticen resultados repetibles y auditables. Es fundamental que los criterios de selección sean claros y manejables, ya que la complejidad de los requisitos y restricciones puede dar lugar a decisiones que no optimicen los valores deseados [16]. La ausencia de un fundamento sistemático puede provocar problemas si el diseño necesita ser auditado o refinado. Un material ideal debería cumplir con todas las restricciones y simultáneamente maximizar o minimizar los objetivos establecidos al inicio de la investigación.

Dentro de los materiales ligeros, opciones como el aluminio y el magnesio superan al acero en términos de densidad y rendimiento. Por otro lado, el polipropileno (PP) reforzado con un 30% de fibra de vidrio es considerado el mejor en su categoría, acercándose en características mecánicas al PP reforzado con un 20% de talco, que presenta un acabado superficial superior. Este aspecto estético es crucial en la selección final, ya que influye en la aceptación del producto [17].

Es importante destacar que el costo de las materias primas no siempre se correlaciona directamente con los costos de fabricación, ya que factores como las rutas del proceso y el ensamblaje también afectan el costo final. Un ejemplo notable es el vehículo Smart ForTwo, que se ha convertido en el primer automóvil de producción en utilizar paneles completamente fabricados de polipropileno. Este avance es posible gracias a la combinación de materiales innovadores, como el compuesto de poliolefina termoplástica (TPO) denominado “Daplen ED230HP”, desarrollado por Borealis. Este tipo de material ya se está utilizando en otros modelos, como el Renault Modus y el Citroën C2, resaltando su potencial en la industria automotriz.

En la industria automotriz, uno de los objetivos clave es la reducción del peso de las estructuras del vehículo, donde una disminución del 10% en peso puede traducirse en un ahorro de combustible del 6 al 10%. Las familias de materiales evaluadas, como el aluminio, magnesio, polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) y el polipropileno, son comparables al acero YS170 en términos de peso total [18]. El copolímero de polipropileno con fibra de vidrio destaca como la mejor opción en relación a ligereza y costo, aunque se requieren cálculos de elementos finitos para verificar la reducción total de peso. Adicionalmente, los compuestos de polieteretercetona (PEEK) con fibra de carbono podrían ofrecer reducciones de volumen significativas, aunque su alto costo puede ser una limitación para su adopción en el mercado. Estas consideraciones subrayan la necesidad de un enfoque sistemático en la evaluación y selección de materiales para la industria automotriz.

6 Conclusión

La investigación llevó a cabo la implementación de un Método Neutrosófico para evaluar la viabilidad de un nuevo material compuesto de polipropileno y cáñamo destinado al reemplazo de los materiales actuales en las puertas de vehículos. A través de un análisis exhaustivo que incorporó una serie de criterios evaluativos relevantes, se obtuvo un índice de evaluación de 0.82, lo que indica que el material compuesto es considerado bueno para su aplicación en la industria automotriz.

Este resultado sugiere que el compuesto de polipropileno y cáñamo no solo cumple con las restricciones y requisitos funcionales necesarios, sino que también ofrece un balance favorable entre costo, peso, durabilidad y sostenibilidad. Además, su implementación podría contribuir significativamente a la reducción del peso de las estructuras vehiculares, lo que a su vez podría traducirse en un ahorro de combustible y un menor impacto ambiental.

La evaluación positiva del nuevo material respalda la viabilidad de su uso en la manufactura de paneles de puertas de automóviles, y destaca la importancia de adoptar enfoques sistemáticos, como el Método Neutrosófico, en la selección de materiales innovadores. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de continuar explorando y desarrollando materiales alternativos que cumplan con los estándares contemporáneos de eficiencia y sostenibilidad en la industria automotriz.

Referencias

[1] D. R. Askeland, P. P. Phulé, W. J. Wright, and D. Bhattacharya, “The science and engineering of materials,” 2003.

[2] M. F. Ashby, *Materials and sustainable development*: Butterworth-Heinemann, 2022.

[3] W. D. Callister, and D. G. Rethwisch, *Fundamentals of materials science and engineering*: Wiley London, 2000.

[4] M. F. Ashby, H. Shercliff, and D. Cebon, *Materials: engineering, science, processing and design*: Butterworth-Heinemann, 2018.

[5] M. F. Ashby, H. Shercliff, and D. Cebon, *Introduction to Materials Science and Engineering: A Design-led Approach*: Butterworth-Heinemann, 2023.

[6] E. K. Petrović, B. Vale, and M. P. Zari, *Materials for a healthy, ecological and sustainable built environment: principles for evaluation*: Woodhead Publishing, 2017.

[7] M. F. Ashby, and D. Cebon, "Materials selection in mechanical design," *Le Journal de Physique IV,* vol. 3, no. C7, pp. C7-1-C7-9, 1993.

[8] L. Holloway, "Materials selection for optimal environmental impact in mechanical design," *Materials & Design,* vol. 19, no. 4, pp. 133-143, 1998.

[9] F. Giudice, G. La Rosa, and A. Risitano, "Materials selection in the life-cycle design process: a method to integrate mechanical and environmental performances in optimal choice," *Materials & Design,* vol. 26, no. 1, pp. 9-20, 2005.

[10] 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.

[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] 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.

[13] 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.

[14] 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.

[15] M. L. Vázquez, and F. Smarandache, *Neutrosofía: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre*: Infinite Study, 2018.

[16] M. Kutz, *Materials and Mechanical Design*: Wiley Online Library, 2006.

[17] B. Dehghan-Manshadi, H. Mahmudi, A. Abedian, and R. Mahmudi, "A novel method for materials selection in mechanical design: combination of non-linear normalization and a modified digital logic method," *Materials & design,* vol. 28, no. 1, pp. 8-15, 2007.

[18] R. S. Khabbaz, B. D. Manshadi, A. Abedian, and R. Mahmudi, "A simplified fuzzy logic approach for materials selection in mechanical engineering design," *Materials & design,* vol. 30, no. 3, pp. 687-697, 2009.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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

[23] 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.

[24] 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

[25] 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 24, 2025. Aceptado: marzo 14, 2025