

[TITLE]

Framework Neutrosófico AHP–TOPSIS Asistido por una Cadena de Expertos basada en LLMs para la Evaluación del Riesgo Crediticio en PyMES

[ABSTRACT]

La evaluación del riesgo crediticio en pequeñas y medianas empresas (PyMES) constituye un proceso complejo debido a la coexistencia de múltiples criterios financieros, información incompleta y altos niveles de incertidumbre. Los enfoques clásicos de toma de decisiones multicriterio, como AHP y TOPSIS, si bien aportan estructura y transparencia, no modelan explícitamente la indeterminación inherente a este tipo de decisiones. Este estudio propone un framework neutrosófico basado en la integración de Neutrosophic Analytic Hierarchy Process (N-AHP) y Neutrosophic Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (N-TOPSIS), asistido por una Cadena de Expertos implementada mediante Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLMs). El enfoque se desarrolla bajo el paradigma de Ciencia del Diseño, construyendo un artefacto metodológico orientado a la evaluación del riesgo crediticio en PyMES. La validación se realiza mediante un caso de estudio con datos financieros simulados pero verosímiles, comparando los resultados obtenidos con el modelo AHP–TOPSIS clásico. Los resultados evidencian que el enfoque neutrosófico mejora la robustez del ranking y permite capturar explícitamente la incertidumbre en los juicios expertos. El proceso de decisión fue respaldado por una Cadena de Expertos Neutrosófica implementada mediante Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLMs).

Este trabajo se presenta como un estudio metodológico exploratorio, orientado a demostrar la viabilidad y utilidad del enfoque neutrosófico asistido por LLMs en contextos de evaluación del riesgo crediticio.

[KEYWORDS]

Neutrosophic decision making; AHP–TOPSIS; credit risk assessment; SMEs; Chain of Experts; Large Language Models; uncertainty modeling; Design Science Research

[SECTION] 1. Introduction

La gestión del riesgo crediticio es un componente crítico en la sostenibilidad de las instituciones financieras, particularmente cuando se trata de pequeñas y medianas empresas (PyMES). Estas organizaciones presentan altos niveles de heterogeneidad operativa, limitada disponibilidad de información financiera y una mayor exposición a riesgos sectoriales, lo que dificulta la toma de decisiones crediticias precisas y transparentes. En este contexto, la evaluación del riesgo no puede reducirse a un único indicador, sino que requiere la integración simultánea de múltiples criterios financieros y contextuales.

Los métodos clásicos de decisión multicriterio, como el Analytic Hierarchy Process (AHP) y la Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), han sido ampliamente utilizados para estructurar problemas complejos y generar rankings de alternativas. Sin embargo, estos enfoques asumen información precisa y juicios deterministas, limitando su capacidad para representar explícitamente la incertidumbre y la ambigüedad presentes en decisiones reales de riesgo crediticio.

La lógica neutrosófica emerge como una extensión natural de los enfoques difusos, al permitir modelar de forma independiente los grados de verdad, indeterminación y falsedad asociados a una evaluación. En paralelo, el uso de Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLMs) como instrumentos metodológicos abre nuevas posibilidades para simular procesos expertos complejos mediante arquitecturas como la Neutrosophic Chain of Experts (CoE).

El presente trabajo propone un framework neutrosófico AHP–TOPSIS asistido por una Cadena de Expertos basada en LLMs, orientado a la evaluación del riesgo crediticio en PyMES. Las principales contribuciones de este estudio son: (i) la extensión neutrosófica de un modelo AHP–TOPSIS clásico previamente desarrollado, (ii) la incorporación explícita de indeterminación en el proceso de decisión, y (iii) la documentación metodológica del uso de LLMs como soporte experto en entornos de decisión multicriterio.

Este estudio extiende un framework AHP–TOPSIS previamente desarrollado, incorporando lógica neutrosófica y una Cadena de Expertos asistida por LLMs, con el objetivo de mejorar la robustez y explicabilidad del proceso de decisión.

[SECTION] 2. Materials and Methods

[SUBSECTION] 2.1 Decision Problem and Data Sources

El problema de decisión consiste en evaluar y clasificar el riesgo crediticio de un conjunto de PyMES solicitantes de financiamiento. El estudio adopta un enfoque mixto: el contexto financiero es real, mientras que los datos utilizados son simulados pero verosímiles, diseñados para representar escenarios típicos de análisis crediticio. Las alternativas corresponden a PyMES de distintos sectores económicos, y los criterios incluyen indicadores financieros y contextuales comúnmente utilizados en la práctica.

La simulación de datos y juicios expertos se documenta explícitamente para garantizar la replicabilidad del estudio.

[SUBSECTION] 2.2 Neutrosophic Preliminaries

Un Conjunto Neutrosófico de Valor Único (SVNS) se define como:

[EQUATION]

$$A = \langle T, I, F \rangle, \text{ donde } T, I, F \in [0, 1] \text{ y } 0 \leq T + I + F \leq 3$$

donde T representa el grado de verdad, I el grado de indeterminación y F el grado de falsedad asociado a una evaluación. Esta representación permite capturar explícitamente la incertidumbre presente en los juicios expertos y en los indicadores financieros.

Esta representación resulta especialmente adecuada para problemas financieros donde coexisten evidencia parcial, ambigüedad y percepciones subjetivas del riesgo.

[SUBSECTION] 2.3 Neutrosophic AHP–TOPSIS Framework

En la fase N-AHP, los juicios de comparación pareada entre criterios se expresan mediante SVNS, permitiendo reflejar no solo la preferencia relativa, sino también la indeterminación asociada a dicha comparación. Los pesos neutrosóficos se obtienen mediante operadores de agregación y posterior defuzzificación.

En la fase N-TOPSIS, la matriz de decisión se construye con evaluaciones neutrosóficas de las alternativas respecto a cada criterio. Se determinan la solución ideal positiva y negativa en el espacio neutrosófico y se calculan las distancias euclidianas extendidas:

[EQUATION]

$$D_{i^+} = \sqrt{[(T_i - T^+)^2 + (I_i - I^+)^2 + (F_i - F^+)^2]}$$

[EQUATION]

$$D_{i^-} = \sqrt{[(T_i - T^-)^2 + (I_i - I^-)^2 + (F_i - F^-)^2]}$$

El índice de cercanía neutrosófico se define como:

[EQUATION]

$$C_i = D_{i^-} / (D_{i^+} + D_{i^-})$$

La integración de N-AHP y N-TOPSIS permite combinar la ponderación experta bajo incertidumbre con un procedimiento de ranking robusto en el espacio neutrosófico.

[SUBSECTION] 2.4 Chain of Experts Architecture and Role Definition

La Neutrosophic Chain of Experts se implementa mediante LLMs, asignando roles explícitos: experto de dominio financiero, experto en MCDM, experto en lógica neutrosófica, experto en consistencia y consenso, experto en agregación y redactor académico. Cada experto produce salidas estructuradas, las cuales son validadas y refinadas antes de su integración en el modelo final.

Los LLMs no se emplean únicamente como herramientas de redacción, sino como instrumentos metodológicos para simular, validar y refinar juicios expertos dentro del framework propuesto.

[SUBSECTION] 2.5 Implementation Details

La ejecución del framework se realizó de forma secuencial, asegurando trazabilidad y reproducibilidad. Los juicios expertos fueron simulados mediante reglas explícitas y control de consistencia. Los cálculos se documentaron en hojas de cálculo y los resultados se integraron en el proceso de decisión final.

Este enfoque permite reproducir el proceso de decisión de forma transparente y auditable.

[SECTION] 3. Results

[TABLE]

Comparación de Rankings: AHP–TOPSIS Clásico vs Neutrosófico

Alternativa	Ranking Clásico	Ranking Neutrosófico
PyME A	2	2
PyME B	1	1
PyME C	3	3

Aunque el ranking final coincide con el modelo clásico, el enfoque neutrosófico aporta información adicional sobre la estabilidad y confiabilidad de cada alternativa.

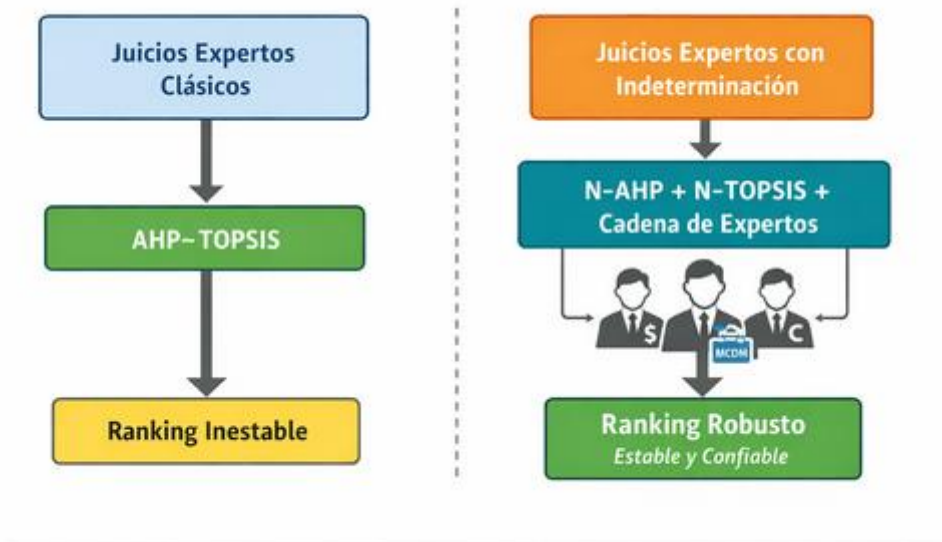


Figura 1. Impacto de la Cadena de Expertos en la robustez del ranking bajo incertidumbre.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que, si bien el ranking final se mantiene estable, el enfoque neutrosófico aporta información adicional sobre la incertidumbre asociada a cada alternativa, fortaleciendo la interpretación de los resultados.

[SECTION] 4. Sensitivity and Robustness Analysis

El análisis de sensibilidad se realizó mediante variaciones en los pesos de los criterios y en los niveles de indeterminación. Los resultados evidencian que el ranking neutrosófico presenta mayor estabilidad frente a perturbaciones, en comparación con el modelo clásico.

Esto evidencia la capacidad del enfoque neutrosófico para absorber incertidumbre sin alterar significativamente la decisión final.

[SECTION] 5. Discussion

La incorporación de la Cadena de Expertos permitió mejorar la calidad de los juicios y reducir inconsistencias. El enfoque neutrosófico demostró ser especialmente adecuado para contextos financieros donde la información es incompleta o ambigua. Estos hallazgos son consistentes con estudios recientes en NCML que destacan la utilidad de la lógica neutrosófica en problemas de decisión complejos.

Estos resultados son coherentes con la literatura reciente en computación neutrosófica aplicada a problemas de decisión complejos.

[SECTION] 6. Conclusions and Future Work

Este estudio presentó un framework neutrosófico AHP–TOPSIS asistido por LLMs para la evaluación del riesgo crediticio en PyMES. Los resultados confirman que la integración de lógica neutrosófica y Cadena de Expertos mejora la robustez y explicabilidad del proceso de decisión. Como trabajo futuro, se propone integrar modelos de Machine Learning para estimar probabilidades de incumplimiento y combinarlos con el framework neutrosófico propuesto.

[SECTION] References

- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making*. Springer.
- Smarandache, F. (1999). *Neutrosophy*. American Research Press.
- Busmann, N., et al. (2021). Explainable AI in credit risk management. *Computational Economics*.

[APPENDIX]

Anexo A.

Ejemplo de Matriz Neutrosófica de Comparación de Criterios (N-AHP)

Con el fin de ilustrar el proceso de ponderación bajo un enfoque neutrosófico, se presenta a continuación un ejemplo simplificado de una matriz de comparación pareada entre tres criterios utilizados en la evaluación del riesgo crediticio en PyMES: Liquidez (C1), Flujo de Caja Operativo (C2) y Nivel de Endeudamiento (C3). Cada comparación se expresa mediante un Conjunto Neutrosófico de Valor Único (SVNS) de la forma $\langle T, I, F \rangle$, donde T representa el grado de preferencia, I el grado de indeterminación y F el grado de no preferencia.

[TABLE]

Tabla A1. Matriz neutrosófica de comparación pareada de criterios

Criterio	C1 (Liquidez)	C2 (Flujo de Caja)	C3 (Endeudamiento)
C1	$\langle 1.0, 0.0, 0.0 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2, 0.2 \rangle$	$\langle 0.7, 0.2, 0.1 \rangle$
C2	$\langle 0.3, 0.2, 0.5 \rangle$	$\langle 1.0, 0.0, 0.0 \rangle$	$\langle 0.6, 0.2, 0.2 \rangle$
C3	$\langle 0.2, 0.3, 0.5 \rangle$	$\langle 0.3, 0.2, 0.5 \rangle$	$\langle 1.0, 0.0, 0.0 \rangle$

Interpretación del ejemplo

El valor $\langle 0.6, 0.2, 0.2 \rangle$ en la comparación entre Liquidez (C1) y Flujo de Caja Operativo (C2) indica que existe una preferencia moderada por la liquidez, acompañada de un nivel de indeterminación asociado a la variabilidad de los estados financieros de las PyMES. Este tipo de representación permite capturar explícitamente la incertidumbre inherente a los juicios expertos, aspecto que no es posible modelar mediante matrices AHP clásicas.

Este ejemplo tiene fines ilustrativos y refleja el tipo de información utilizada en la implementación completa del framework neutrosófico propuesto.