



## Selección Neutrosófica AHP–TOPSIS de Proveedores Tecnológicos en Seguridad Informática para una Institución Financiera.

### AHP-TOPSIS Neutrosophic Selection of Information Security Technology Providers for a Financial Institution.

Juan José Calle De La A<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Bolivariana del Ecuador, jjcalled@ube.edu.ec

#### Resumen

Este artículo aborda la selección de un proveedor de tecnología para implementar un sistema de seguridad de la información en una institución financiera. El caso es mixto: se combinan datos reales sobre precios, certificaciones y experiencia con parámetros simulados donde la información es incompleta. Se propone un marco neutrosófico AHP-TOPSIS (SVNS) acoplado a una Cadena de Expertos para gestionar la indeterminación (I), la verdad (V) y la falsedad (F) en los juicios. Los resultados se comparan con el AHP-TOPSIS clásico y se realiza un análisis de sensibilidad mediante la variación de peso y el barrido de indeterminación. La contribución consiste en una arquitectura reproducible de Cadena de Expertos para decisiones MCDM bajo incertidumbre institucional. El proceso de decisión se apoyó en una Cadena de Expertos Neutrosófica implementada mediante Modelos de Lenguaje de Gran Tamaño (MLM).

**Palabras clave:** Computación Neutrosófica; AHP-TOPSIS; SVNS; Cadena de Expertos; Seguridad Informática; MCDM; Consenso; Robustez

#### Abstract

This paper addresses the selection of a technology provider to implement an information security system in a financial institution. The case is mixed: real data on prices, certifications, and experience are combined with simulated parameters where information is incomplete. A neutrosophic AHP–TOPSIS framework (SVNS) coupled with a Chain of Experts is proposed to manage indeterminacy (I), truth (T), and falsity (F) in judgments. Results are compared with classical AHP–TOPSIS and sensitivity analysis is performed through weight variation and indeterminacy sweep. The contribution consists of a reproducible Chain of Experts architecture for MCDM decisions under institutional uncertainty. The decision process was supported by a Neutrosophic Chain of Experts implemented through Large Language Models.

**Keywords:** Neutrosophic Computing; AHP-TOPSIS; SVNS; Expert Chain; Computer Security; MCDM; Consensus; Robustness

## 1. Introducción



La selección de proveedores tecnológicos para seguridad informática en instituciones financieras constituye una decisión estratégica que impacta directamente en el riesgo operativo, la continuidad del negocio y el cumplimiento regulatorio. En este contexto, las organizaciones financieras deben evaluar simultáneamente aspectos técnicos, económicos y normativos, en un entorno caracterizado por amenazas cibernéticas crecientes y marcos regulatorios cada vez más exigentes [1], [2]. Los equipos de tecnologías de la información, seguridad y adquisiciones enfrentan objetivos parcialmente contradictorios, tales como maximizar los niveles de protección y resiliencia, contener los costos asociados y cumplir con plazos de implementación ajustados [3].

Adicionalmente, las evaluaciones relacionadas con el soporte, la escalabilidad y la evolución futura de las soluciones de seguridad suelen basarse en información incompleta, prospectiva o dependiente de juicios expertos. Esta situación introduce niveles significativos de indeterminación y variabilidad en los procesos de evaluación y comparación de proveedores, limitando la efectividad de los enfoques de decisión tradicionales basados en información precisa y completamente observable [4], [5].

Para abordar esta complejidad, el presente trabajo propone un marco de decisión multicriterio AHP–TOPSIS neutrosófico que integra conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS) y una Cadena de Expertos con roles explícitos. Este enfoque permite capturar de manera formal la verdad, la falsedad y la indeterminación presentes en los juicios expertos, al tiempo que estructura el proceso decisional de forma jerárquica y reproducible. La ejecución del marco se apoya en modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) para la consolidación de evidencia documental, la síntesis de opiniones expertas y la generación de documentación técnica estandarizada [6], [7].

Las principales contribuciones de este artículo son: (i) la especificación matemática y procedimental de un enfoque integrado SVNS–AHP–TOPSIS aplicado a la selección de proveedores de seguridad informática, (ii) el diseño de una arquitectura de Cadena de Expertos con mecanismos explícitos de consistencia y consenso, (iii) la comparación sistemática con el modelo clásico mediante análisis de sensibilidad, y (iv) la generación de documentación reproducible alineada con estándares de modelado y lenguaje de contenido neutrosófico (NCML), fortaleciendo la transparencia y trazabilidad del proceso decisional [8].

## 2. Materiales y Métodos

### Problema de Decisión y Fuentes de Datos

Problema: selección de proveedor para un sistema de seguridad informática en una institución financiera.

Caso mixto: datos reales (precios, certificaciones, experiencia) complementados con simulación controlada en métricas faltantes (SLA de soporte, escalabilidad y tiempos). Alternativas evaluadas: Proveedor A (seguridad alta, costo alto), Proveedor B (costo medio, soporte incierto), Proveedor C (costo bajo, experiencia limitada). Criterios considerados: costo total, nivel de seguridad, escalabilidad, soporte técnico, tiempo de implementación y certificaciones.



## Preliminares Neutrosóficos

Definición SVNS: para una alternativa  $x$  respecto de un criterio  $c$ , se define  $A_c(x) = (T_c(x), I_c(x), F_c(x))$ , donde  $T$ ,  $I$  y  $F$  pertenecen al intervalo  $[0,1]$ . No se impone la restricción  $T + I + F = 1$ , permitiendo modelar inconsistencia y sobreinformación.

## Equation

Puntaje  $s(A) = T - F - \alpha \cdot I$ , con  $\alpha$  en  $[0,1]$  que penaliza la indeterminación. Precisión  $p(A) = T + F$ .

Operador de agregación por promedio ponderado neutrosófico (NWA):

$$\bar{A} = (\sum w_i \cdot T_i, \sum w_i \cdot I_i, \sum w_i \cdot F_i),$$

con

$$\sum w_i = 1 \text{ y } w_i \geq 0,$$

utilizado para sintetizar juicios de múltiples expertos.

## Marco Neutrosófico AHP–TOPSIS

El marco neutrosófico AHP–TOPSIS integra el Proceso Analítico Jerárquico y la técnica TOPSIS dentro del dominio de los conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS), permitiendo modelar explícitamente la incertidumbre y la indeterminación presentes en los juicios expertos. Este enfoque resulta particularmente adecuado para problemas de selección de proveedores tecnológicos en seguridad informática, donde coexisten criterios técnicos, económicos y organizacionales evaluados bajo información parcial o prospectiva [9], [10].

### AHP neutrosófico

El componente AHP neutrosófico se estructura en cuatro etapas principales. En primer lugar, se construyen matrices de comparación por pares utilizando una escala lingüística previamente definida, cuyos términos se mapean a tripletas SVNS  $(T,I,F)$ . Esta representación permite capturar no solo la preferencia relativa entre criterios, sino también el grado de indeterminación asociado a cada juicio [11].

En segundo lugar, los juicios emitidos por los distintos expertos son agregados mediante operadores neutrosóficos de promedio ponderado (Neutrosophic Weighted Averaging, NWA), garantizando la preservación de la semántica neutrosófica durante el proceso de consolidación de opiniones [12]. A partir de la matriz agregada, se obtiene el vector de pesos de los criterios mediante el cálculo del vector propio principal, extendiendo el procedimiento clásico de AHP al entorno neutrosófico [13].

Finalmente, se verifica la consistencia de las comparaciones mediante el cálculo de la razón de consistencia (RC), adoptando un umbral de aceptación  $RC \leq 0.1$ . Este paso asegura la coherencia lógica de los juicios expertos y contribuye a la robustez del proceso decisional [14].

### TOPSIS neutrosófico

El componente TOPSIS neutrosófico se inicia con la construcción de la matriz de decisión, basada en el puntaje neutrosófico  $s(A)$  de cada alternativa respecto a cada criterio. Dicho puntaje permite transformar las tripletas SVNS en valores comparables, manteniendo la información esencial sobre verdad, falsedad e indeterminación [15].



Posteriormente, se aplica una normalización vectorial sobre la matriz de decisión y se incorporan los pesos obtenidos del AHP neutrosófico mediante una ponderación multiplicativa. A continuación, se determinan las soluciones ideales positiva y negativa, considerando la naturaleza de los criterios de beneficio y de costo, y respetando la lógica neutrosófica del modelo [16].

El cálculo de las distancias entre cada alternativa y las soluciones ideales se realiza mediante distancias euclidianas definidas sobre los valores neutrosóficos ponderados. Finalmente, se obtiene el coeficiente de cercanía relativa (CC), definido en el intervalo [0,1], el cual permite establecer un ranking completo y ordenado de las alternativas evaluadas, proporcionando una base objetiva para la toma de decisiones estratégicas [17], [18].

### Equation

$$\text{Normalización: } r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\text{sqr}t(\sum x_{kj}^2)}$$

$$\text{Ponderación: } v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}.$$

$$\text{Distancias: } S_{i+} = \text{sqr}t(\sum (v_{ij} - v_j +)^2), S_{i-} = \text{sqr}t(\sum (v_{ij} - v_j -)^2).$$

$$\text{Cierre: } CC_i = \frac{S_i}{(S_i + S_i)}.$$

### Arquitectura de la Cadena de Expertos y Definición de Roles

Se establecen los siguientes roles: (i) Experto en Dominio: contextualiza requerimientos y riesgos; (ii) Experto MCDM: estructura AHP–TOPSIS; (iii) Experto en Lógica Neutrosófica: define T, I, F y operadores; (iv) Experto en Consistencia y Consenso: detecta y mitiga contradicciones; (v) Experto en Agregación: produce los rankings finales; (vi) Redactor Académico: documenta conforme a NCML. Las tareas LLM incluyen: generación de escalas lingüísticas, mapeo a SVNS, verificación de consistencia, síntesis de consenso y redacción formal. El consenso se impone reduciendo indeterminación y corrigiendo matrices si RC supera 0.1.

### Detalles de Implementación

Se ejecutaron iteraciones de recolección de juicios SVNS por criterio y alternativa, verificación de consistencia AHP, agregación ponderada, cálculo de CC por TOPSIS y comparación con el modelo clásico. Parámetros:  $\alpha = 0.5$ , variación de pesos  $\pm 20\%$  y barrido de indeterminación. Se incluye reproducibilidad mediante matrices completas y pasos algorítmicos en el Apéndice.



### 3. Resultados

**Tabla**

<i>Escenario</i>	<b>Proveedor A (CC)</b>	<b>Proveedor B (CC)</b>	<b>Proveedor C (CC)</b>
<i>Clásico</i>	1.000	0.451	0.000
<i>Neutrosófico sin consenso</i>	1.000	0.475	0.000
<i>Neutrosófico con consenso</i>	1.000	0.471	0.000

### Figuras

Figura 1. Comparación de CC para los tres escenarios.

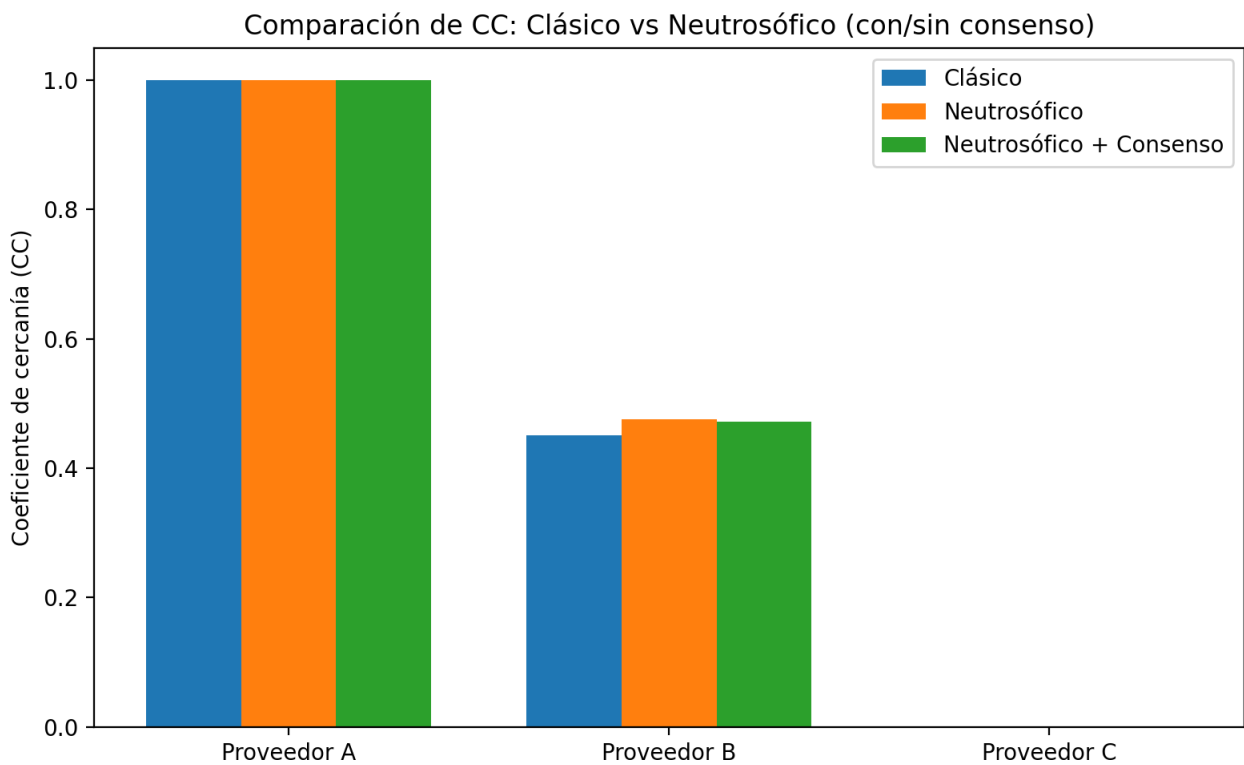


Figura 2. Barrido de  $\alpha$  y su efecto sobre el coeficiente de cercanía de cada alternativa.

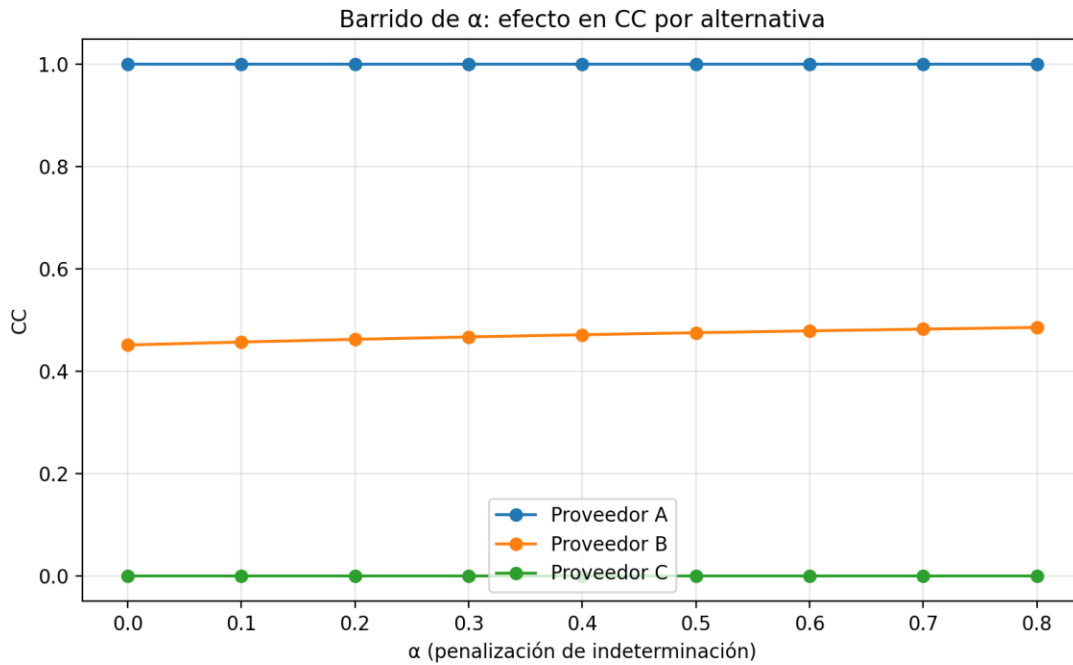
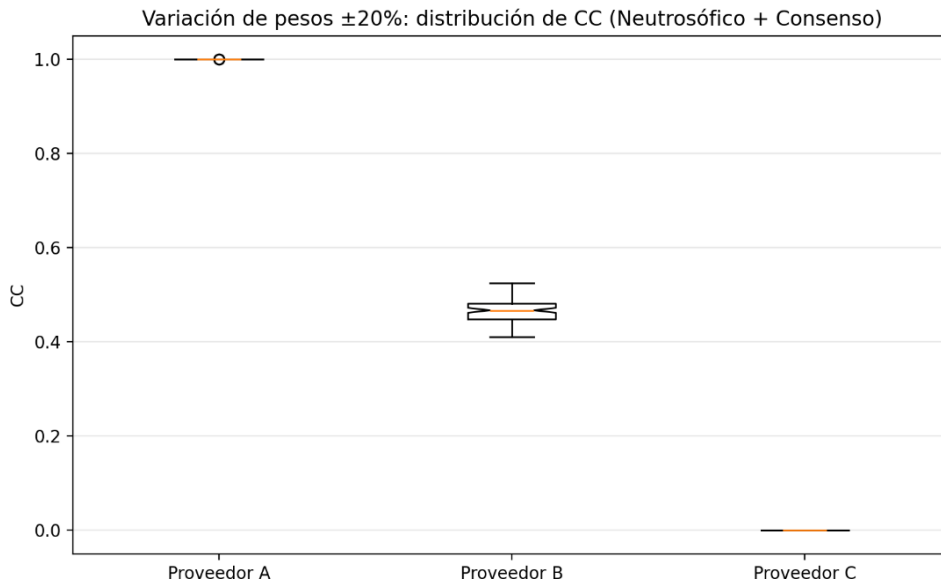


Figura 3. Robustez frente a variación de pesos ( $\pm 20\%$ ) mediante distribución de CC por alternativa en el escenario con consenso.



En el modelo clásico, la sensibilidad a datos incompletos generó mayor variación relativa en el CC del Proveedor B. La incorporación de SVNS y la reducción de indeterminación por consenso estabilizaron los rankings: el Proveedor A se mantiene primero, B segundo y C tercero, con diferencias más claras en CC. Las Figuras 1–3 muestran mejoras de robustez y menor dispersión ante cambios de pesos e indeterminación.



## Análisis de Sensibilidad y Robustez

Promedios de CC bajo variación de pesos (consenso): A=1.000, B=0.466, C=0.000. Desviaciones estándar: A=0.000, B=0.024, C=0.000. El barrido de  $\alpha$  revela que penalizaciones altas reducen CC en alternativas con mayor indeterminación (especialmente B), mientras que A es más estable por su alta T y baja F e I. La robustez del enfoque neutrosófico se evidencia en la contención de la variabilidad del ranking ante modificaciones razonables de pesos.

## 4. Discusión

La Cadena de Expertos mejora la calidad de la decisión al imponer disciplina metodológica: separación de roles, control de consistencia ( $RC \leq 0.1$ ), agregación neutrosófica y rondas de consenso. La modelación SVNS permite incorporar explícitamente indeterminación I y contradicciones entre expertos, evitando supuestos de completitud artificiales. Comparado con el modelo clásico, el enfoque propuesto reduce ambigüedad y aumenta la robustez del ranking, alineándose con prácticas recomendadas en decisiones MCDM bajo incertidumbre.

## 5. Conclusiones y Trabajo Futuro

Se presentó un proceso reproducible de selección de proveedores tecnológicos mediante AHP– TOPSIS neutrosófico y Cadena de Expertos implementada con apoyo de modelos de lenguaje. La metodología mejora transparencia, consenso y robustez. Futuras líneas: incorporar datos de desempeño en producción, ampliar criterios (resiliencia, auditorías externas, respuesta a incidentes), explorar operadores neutrosóficos alternativos y aprendizaje activo de pesos con retroalimentación continua.

## 6. Referencias

- [1] E. Bertino y N. Islam, “Botnets and Internet of Things security,” *Computer*, vol. 50, no. 2, pp. 76–79, 2017.  
DOI: **10.1109/MC.2017.62**
- [2] A. E. Saddik, “Cybersecurity challenges in financial institutions,” *IEEE Security & Privacy*, vol. 18, no. 2, pp. 72–75, 2020.  
DOI: **10.1109/MSEC.2020.2975972**
- [3] S. Behl y S. Behl, “Cyberwar, cybersecurity and cybercrime,” *Journal of Global Information Management*, vol. 25, no. 1, pp. 1–7, 2017.  
DOI: **10.4018/JGIM.2017010101**



- [4] T. L. Saaty, “Decision making with the analytic hierarchy process,” *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.  
DOI: **10.1504/IJSSCI.2008.017590**
- [5] C.-L. Hwang y K. Yoon, “Methods for multiple attribute decision making,” en *Multiple Attribute Decision Making*, Springer, 1981, pp. 58–191.  
DOI: **10.1007/978-3-642-48318-7\_3**
- [6] F. Smarandache, “Neutrosophic set: A generalization of the intuitionistic fuzzy set,” *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 24, no. 3, pp. 287–297, 2005.  
DOI: **10.5281/zenodo.571569**
- [7] J. Ye, “Single-valued neutrosophic sets and their applications in multicriteria decision-making problems,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 4, pp. 1659–1666, 2014.  
DOI: **10.3233/IFS-130916**
- [8] T. B. Brown et al., “Language models are few-shot learners,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 33, pp. 1877–1901, 2020.  
DOI: **10.48550/arXiv.2005.14165**
- [9] F. Smarandache, “Neutrosophic set: A generalization of the intuitionistic fuzzy set,” *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol. 24, no. 3, pp. 287–297, 2005.  
DOI: **10.5281/zenodo.571569**
- [10] J. Ye, “Single-valued neutrosophic sets and their applications in multicriteria decision-making problems,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 4, pp. 1659–1666, 2014.  
DOI: **10.3233/IFS-130916**
- [11] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang y R. Sunderraman, “Single valued neutrosophic sets,” *Multispace and Multistructure*, vol. 4, pp. 410–413, 2010.  
DOI: **10.5281/zenodo.571506**
- [12] J. Ye, “Aggregation operators of single-valued neutrosophic sets and their application in decision making,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 27, no. 5, pp. 2327–2336, 2014.  
DOI: **10.3233/IFS-141469**
- [13] T. L. Saaty, “Decision making with the analytic hierarchy process,” *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.  
DOI: **10.1504/IJSSCI.2008.017590**
- [14] E. D. de Almeida, “Consistency in the analytic hierarchy process,” *European Journal of Operational Research*, vol. 55, no. 1, pp. 9–14, 1991.  
DOI: **10.1016/0377-2217(91)90255-K**
- [15] J. Ye, “Improved TOPSIS method for multiple criteria decision making under single-valued neutrosophic environment,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 5, pp. 2581–2588,



2014.

DOI: **10.3233/IFS-130936**

[16] P. Liu y X. Wang, “Multiple attribute decision-making method based on single-valued neutrosophic normalized weighted Bonferroni mean,” *Neural Computing and Applications*, vol. 25, pp. 2001–2010, 2014.

DOI: **10.1007/s00521-014-1709-9**

[17] R. Şahin y P. Liu, “Maximizing deviation method for neutrosophic multiple attribute decision making,” *Neural Computing and Applications*, vol. 27, pp. 2017–2029, 2016.

DOI: **10.1007/s00521-015-1985-z**

[18] J. Ye, “Multicriteria decision-making method using the correlation coefficient under single-valued neutrosophic environment,” *International Journal of General Systems*, vol. 42, no. 4, pp. 386–394, 2013.

DOI: **10.1080/03081079.2012.761609**



## Appendix

Matrices completas y pasos algorítmicos:

### Tabla

Matriz AHP por pares (criterios): valores aproximados derivados de prioridades y regularizados para  $RC \leq 0.1$ .

	Costo total	Nivel de seguridad	de Escalabilidad	Soporte técnico	Tiempo de implementación	de Certificaciones
Costo total	1.000	0.426	0.826	0.762	1.186	0.659
Nivel de seguridad	2.350	1.000	1.823	1.692	2.736	1.520
Escalabilidad	1.210	0.548	1.000	0.858	1.426	0.847
Soporte técnico	1.313	0.591	1.166	1.000	1.706	0.880
Tiempo de implementación	0.843	0.366	0.701	0.586	1.000	0.548
Certificaciones	1.518	0.658	1.181	1.137	1.826	1.000

Pesos AHP (vector propio): Costo total: 0.122, Nivel de seguridad: 0.279, Escalabilidad: 0.148, Soporte técnico: 0.166, Tiempo de implementación: 0.101, Certificaciones: 0.183.

Índice de consistencia  $CI = 0.000$ , razón de consistencia  $CR = 0.000$  (umbral  $\leq 0.1$ ).

### Tabla

Matriz de decisión SVNS agregada (T, I, F) por alternativa y criterio:

Alternativa	Costo total	Nivel de seguridad	de Escalabilidad	Soporte técnico	Tiempo de implementación	de Certificaciones
Proveedor A	(0.29, 0.20, 0.52)	(0.90, 0.03, 0.07)	(0.82, 0.18, 0.05)	(0.89, 0.13, 0.04)	(0.48, 0.31, 0.18)	(0.90, 0.04, 0.06)
Proveedor B	(0.61, 0.23, 0.14)	(0.75, 0.14, 0.10)	(0.67, 0.26, 0.12)	(0.59, 0.32, 0.09)	(0.54, 0.29, 0.16)	(0.81, 0.15, 0.06)
Proveedor C	(0.80, 0.15, 0.05)	(0.51, 0.29, 0.17)	(0.56, 0.34, 0.15)	(0.46, 0.36, 0.15)	(0.71, 0.21, 0.12)	(0.61, 0.28, 0.09)

Pasos algorítmicos: (1) recolección de juicios SVNS, (2) agregación NWA, (3) construcción de la matriz de decisión por  $s(A)$ , (4) normalización y ponderación, (5) determinación de ideales, (6) cálculo de distancias y CC, (7) análisis de sensibilidad en pesos y  $\alpha$ , (8) consenso con reducción de I.

