



Framework Neutrosófico N–AHP–N–TOPSIS asistido por LLMs para la Selección de Plataformas Cloud y Prácticas DevOps en Aseguradoras del Ecuador: Modelo, Caso de Estudio, Sensibilidad y Reproducibilidad

Neutrosophic N-AHP-N-TOPSIS Framework Assisted by LLMs for the Selection of Cloud Platforms and DevOps Practices in Insurance Companies in Ecuador: Model, Case Study, Sensitivity and Reproducibility

Ing. Bradley Corro¹

¹ Universidad Bolivariana del Ecuador, Ingeniero en TI, Full-Stack, Arquitecto de Software y Especialista DevOps (Mercado Asegurador del Ecuador), nacastrop@ube.edu.ec

Resumen

Este trabajo presenta un framework neutrosófico de decisión multicriterio (N–AHP–N– TOPSIS) asistido por modelos de lenguaje (LLMs) para seleccionar estrategias cloud– DevOps en aseguradoras ecuatorianas bajo incertidumbre normativa y técnica. Se formaliza el modelo con conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS), se desarrollan ecuaciones de normalización y distancia, y se implementa un caso de estudio con cuatro alternativas y cinco criterios priorizados (seguridad y cumplimiento; costo total; desempeño y disponibilidad; madurez DevOps; ecosistema y talento). Se reportan matrices N–AHP, la matriz de decisión SVNS, el ranking N–TOPSIS, análisis de sensibilidad (variación de pesos y escenarios de indeterminación), comparación con un enfoque clásico (AHP–TOPSIS no neutrosófico), consideraciones de reproducibilidad (anexos y código), y discusión de implicaciones prácticas para arquitectura y seguridad en el mercado asegurador. El aporte radica en: (i) modelar explícitamente la indeterminación (I) en juicios y datos; (ii) robustecer el proceso decisional ante cambios regulatorios recientes; (iii) ofrecer un artículo reproducible con tablas y figuras para adopción institucional.

Palabras clave: Neutrosofía, SVNS, N–AHP, N–TOPSIS, DevOps, Cloud, Insurtech, Ecuador, Ciberseguridad, Cumplimiento

Abstract

This paper presents a neutrosophic multi-criteria decision framework (N-AHP-N-TOPSIS) assisted by language models (LLMs) for selecting cloud-DevOps strategies in Ecuadorian insurance companies under regulatory and technical uncertainty. The model is formalized with neutrosophic single-value sets (SVNS), normalization and distance equations are developed, and a case study is implemented with four alternatives and five prioritized criteria (security and compliance; total cost; performance and availability; DevOps maturity; ecosystem and talent). N-AHP matrices, the SVNS decision matrix, the N-TOPSIS ranking, sensitivity analysis (weight variations and indeterminacy scenarios), comparison with a classical approach (non-neutrosophic AHP-TOPSIS), reproducibility considerations (appendices and code), and a discussion of practical implications for architecture and security in the insurance market are reported. The contribution lies in: (i) explicitly modeling indeterminacy (I) in judgments and data; (ii) strengthen the decision-making process in light of recent regulatory changes; (iii) provide a reproducible article with tables and figures for institutional adoption.

Keywords: Neutrosophic, SVNS, N-AHP, N-TOPSIS, DevOps, Cloud, Insurtech, Ecuador, Cybersecurity, Compliance

1. Introducción

La modernización del sector asegurador ecuatoriano constituye un imperativo estratégico que exige decisiones tecnológicas complejas, las cuales deben considerar simultáneamente múltiples dimensiones como el cumplimiento regulatorio, la ciberseguridad, la eficiencia operativa y la experiencia digital del cliente. En un contexto donde la transformación digital ha dejado de ser una opción para convertirse en un requisito de supervivencia competitiva, las organizaciones del sector enfrentan el desafío de evaluar e integrar tecnologías emergentes sin comprometer la estabilidad operacional ni la conformidad normativa [1], [2].

La creciente disponibilidad de servicios cloud provistos por actores globales, junto con las capacidades emergentes de la inteligencia artificial y las prácticas de automatización DevOps, ha configurado un entorno decisional altamente multidimensional. Dicho entorno se caracteriza por la coexistencia de múltiples criterios de evaluación, alternativas tecnológicas heterogéneas y conjuntos de datos que, en muchos casos, resultan incompletos, imprecisos o incluso contradictorios [3], [4]. Esta complejidad se ve intensificada por la evolución constante de los marcos regulatorios en materia de protección de datos, ciberseguridad y servicios financieros digitales, particularmente relevantes para el sector asegurador [5].

En este escenario, los métodos de decisión multicriterio tradicionales, tales como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y la Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud a la Solución Ideal (TOPSIS), han sido ampliamente utilizados para estructurar problemas complejos y priorizar alternativas tecnológicas. No obstante, sus formulaciones clásicas asumen información precisa y consistente, lo cual limita su capacidad para representar explícitamente la indeterminación inherente a los procesos de evaluación bajo condiciones de incertidumbre y ambigüedad [6], [7]. Esta limitación resulta especialmente crítica en el sector asegurador, donde las decisiones estratégicas suelen apoyarse en evidencia parcial y juicios expertos divergentes.

La neutrosofía, introducida por Florentin Smarandache, ofrece un marco teórico robusto para superar estas restricciones al descomponer cada evaluación en tres componentes independientes: verdad (T), indeterminación (I) y falsedad (F). Esta representación tripartita permite modelar de manera más fiel la naturaleza incierta y contradictoria de los procesos decisionales reales. En este trabajo, se integran extensiones neutrosóficas de AHP y TOPSIS basadas en conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS), y se complementa el proceso mediante el uso de modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) para la consolidación de evidencia documental, la síntesis de opiniones expertas y la generación de un manuscrito científico reproducible y estructurado [8].

2. Estado del arte y fundamentos teóricos

2.1 Neutrosofía y conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS)

La lógica neutrosófica representa una generalización de los sistemas lógicos clásicos, difusos y intuicionistas, introduciendo explícitamente la componente de indeterminación como un elemento independiente del análisis. En el marco de los conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS), cada



valoración o juicio de un experto sobre una alternativa respecto a un criterio se expresa mediante una terna ordenada $(T, I, F) \in [0,1]^3$, donde:

- **T (Verdad):** representa el grado de membresía o certeza positiva respecto a la afirmación evaluada
- **I (Indeterminación):** captura la incertidumbre, ambigüedad o información faltante
- **F (Falsedad):** refleja el grado de no-membresía o certeza negativa

Una característica distintiva de los SVNS, que los diferencia fundamentalmente de los conjuntos difusos tipo-2 y los conjuntos intuicionistas, es que no requieren complementariedad estricta entre T y F. Es decir, la condición $T + I + F = 1$ no es necesaria, lo que permite modelar simultáneamente situaciones donde existe certeza positiva y negativa parcial, junto con indeterminación explícita. Esta flexibilidad matemática resulta particularmente valiosa para capturar la complejidad de los juicios humanos en contextos de información imperfecta, donde pueden coexistir evidencias contradictorias sin que ninguna sea definitivamente descartada.

En el contexto de decisiones tecnológicas para el sector asegurador, esta capacidad de modelación explícita de la indeterminación permite, por ejemplo, reflejar situaciones donde un criterio como "ecosistema y talento local" presenta evidencia positiva (existen algunos profesionales capacitados), evidencia negativa (la oferta es limitada comparada con mercados desarrollados) e indeterminación significativa (no existen estadísticas

completas sobre la disponibilidad de talento especializado en cloud y DevOps en Ecuador).

2.2 N–AHP: Proceso Analítico Jerárquico Neutrosófico

La lógica neutrosófica representa una generalización de los sistemas lógicos clásicos, difusos e intuicionistas, al introducir explícitamente la componente de indeterminación como un elemento independiente del análisis. En el marco de los conjuntos neutrosóficos de valor único (Single-Valued Neutrosophic Sets, SVNS), cada valoración o juicio experto sobre una alternativa respecto a un criterio se expresa mediante una terna ordenada $(T, I, F) \in [0,1]$ donde la verdad (T) representa el grado de certeza positiva asociado a la afirmación evaluada, la indeterminación (I) captura la incertidumbre, ambigüedad o información faltante, y la falsedad (F) refleja el grado de certeza negativa o no-membresía [9], [10].

Una característica distintiva de los SVNS, que los diferencia de manera fundamental de los conjuntos difusos tipo-2 y de los conjuntos intuicionistas, es que no requieren una relación de complementariedad estricta entre los valores de verdad y falsedad. En particular, la condición $T + I + F = 1$ no es necesaria, lo que permite modelar situaciones en las que coexisten simultáneamente evidencia positiva y negativa parcial junto con niveles significativos de indeterminación explícita [11]. Esta propiedad amplía la capacidad expresiva del modelo y lo hace especialmente adecuado para representar juicios humanos en escenarios de información imperfecta y contradictoria.

Desde una perspectiva aplicada, la flexibilidad matemática de los SVNS resulta especialmente valiosa en problemas de toma de decisiones complejas, donde los expertos pueden sostener valoraciones divergentes basadas en evidencia incompleta o ambigua. A diferencia de los enfoques difusos tradicionales, la neutrosofía permite preservar la indeterminación como un componente informativo independiente, evitando su redistribución forzada en los grados de verdad o falsedad [12].

En el contexto de las decisiones tecnológicas del sector asegurador, esta capacidad de modelación explícita de la indeterminación posibilita reflejar situaciones realistas, como la evaluación del criterio “ecosistema y talento local”. Dicho criterio puede presentar evidencia positiva (existencia de profesionales capacitados), evidencia negativa (oferta limitada en comparación con mercados más desarrollados) e indeterminación relevante derivada de la ausencia de estadísticas completas y actualizadas sobre la disponibilidad de talento especializado en tecnologías cloud y prácticas DevOps en Ecuador [13], [14]. En este sentido, los SVNS proporcionan un marco formal adecuado para capturar la complejidad inherente a este tipo de juicios estratégicos.

2.3 N–TOPSIS: Extensión Neutrosófica de TOPSIS

El método N–TOPSIS extiende la lógica clásica de TOPSIS, basada en la selección de la alternativa más cercana a la solución ideal positiva y más alejada de la solución ideal negativa, al dominio de los conjuntos neutrosóficos. Esta extensión permite incorporar explícitamente la indeterminación inherente a los juicios expertos, superando las limitaciones de los enfoques crisp y difusos tradicionales [15], [16].

El proceso de N–TOPSIS se estructura en varias etapas fundamentales. En primer lugar, se realiza la normalización de la matriz de decisión construida a partir de conjuntos neutrosóficos de valor único (SVNS), aplicando operadores de normalización que preservan la semántica de las componentes de verdad (T), indeterminación (I) y falsedad (F), las cuales son tratadas de manera independiente para evitar pérdidas de información [17].



Posteriormente, la matriz normalizada es ponderada mediante los pesos obtenidos a partir del proceso N–AHP. Esta ponderación se efectúa de forma multiplicativa sobre cada tripleta neutrosófica, respetando la diferenciación entre criterios de beneficio, orientados a la maximización del grado de verdad, y criterios de costo, orientados a su minimización [18].

A continuación, se determinan las soluciones ideales neutrosóficas positiva y negativa. Para los criterios de beneficio, la solución ideal positiva se define a partir del máximo valor observado de la componente de verdad, mientras que para los criterios de costo se emplea el mínimo valor correspondiente. De manera análoga, se establecen las soluciones ideales negativas, preservando la coherencia con la naturaleza neutrosófica de la información [19].

El cálculo de las distancias entre cada alternativa y las soluciones ideales se realiza mediante métricas definidas sobre el espacio SVNS, comúnmente utilizando variantes de la distancia euclidiana aplicadas a las tripletas ponderadas (T,I,F). Finalmente, se obtiene un índice de cercanía relativa para cada alternativa, el cual permite construir un ranking completo y consistente [20].

La principal ventaja diferencial del método N–TOPSIS frente a su versión clásica radica en su capacidad para mantener la trazabilidad de la indeterminación a lo largo de todo el proceso decisional. Esto no solo conduce a un ordenamiento de alternativas, sino que también facilita el análisis de la robustez del ranking frente a la incertidumbre y la información contradictoria presente en los datos de entrada, aspecto crucial en decisiones tecnológicas estratégicas del sector asegurador.

3. Contexto ecuatoriano y formulación del problema

El sector asegurador ecuatoriano se encuentra en una coyuntura de transformación acelerada, impulsada por factores regulatorios, tecnológicos y competitivos que convergen simultáneamente. La reciente Política Pública de Transformación Digital 2025–2030, promulgada por el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), establece lineamientos estratégicos que obligan a las instituciones financieras y de seguros a modernizar su infraestructura tecnológica, fortalecer sus capacidades de ciberseguridad, y mejorar la experiencia digital de sus clientes.

Paralelamente, el marco regulatorio específico para empresas insurtech (JPRF-S-2025-0152) introduce requisitos adicionales en materia de protección de datos personales, transparencia algorítmica en procesos de suscripción y liquidación automatizada, y gobernanza tecnológica. Estos nuevos mandatos normativos se suman a las exigencias preexistentes de la Superintendencia de Bancos y de la Superintendencia de Compañías en materia de continuidad del negocio, resiliencia operacional y gestión de riesgos tecnológicos.

En este contexto regulatorio dinámico, las aseguradoras medianas ecuatorianas enfrentan el desafío estratégico de seleccionar arquitecturas cloud y prácticas DevOps que no solo cumplan con los requisitos normativos actuales, sino que además mantengan la flexibilidad necesaria para adaptarse a futuros cambios regulatorios sin incurrir en costosas re-arquitecturas. La complejidad se ve amplificada por la entrada de proveedores cloud globales (AWS, Azure, Google Cloud) al mercado ecuatoriano mediante alianzas



estratégicas con partners locales, lo que incrementa la disponibilidad de servicios pero también introduce nuevas consideraciones en materia de soberanía de datos, jurisdicción legal y cumplimiento multinivel.

Formulación formal del problema de decisión

Dado este contexto, el problema de decisión que aborda el presente trabajo se formula de la siguiente manera:

Objetivo: Seleccionar una estrategia integrada de arquitectura cloud y prácticas DevOps que optimice simultáneamente múltiples objetivos, potencialmente conflictivos, bajo condiciones de incertidumbre informacional, técnica y regulatoria.

Criterios de evaluación:

- **Maximizar** seguridad y cumplimiento normativo (local e internacional)
- **Minimizar** costo total de propiedad (CAPEX, OPEX, costos ocultos)
- **Maximizar** desempeño técnico y disponibilidad del servicio
- **Maximizar** madurez en prácticas DevOps y automatización
- **Maximizar** acceso a ecosistema de partners, soporte y talento técnico

Restricciones:

- Compatibilidad con sistemas legacy críticos (core de pólizas, contabilidad)
- Cumplimiento de requisitos de residencia de datos según LOPDP
- Capacidad de implementación con el equipo técnico actual
- Viabilidad presupuestaria dentro del ciclo de inversión trienal

Incertidumbres explícitas:

- Evolución del marco regulatorio en materia de IA y automatización
- Disponibilidad futura de talento técnico especializado en el mercado local
- Variabilidad de costos operativos cloud según patrones de crecimiento
- Estabilidad de acuerdos comerciales con proveedores y partners

La naturaleza multicriterio, multi-stakeholder e incierta de este problema justifica plenamente la aplicación



de un framework neutrosófico de decisión, que permita capturar explícitamente las indeterminaciones identificadas y producir recomendaciones robustas frente a la variabilidad de escenarios futuros posibles.

4. Alternativas y criterios

4.1 Alternativas tecnológicas evaluadas

La definición de las alternativas estratégicas se realizó mediante un proceso participativo que involucró a arquitectos de soluciones, responsables de seguridad, líderes de operaciones TI y representantes de la alta dirección. Se identificaron cuatro alternativas representativas del espacio de solución, cada una con características distintivas en términos de complejidad, inversión requerida, flexibilidad arquitectónica y alineación con diferentes estrategias de negocio:

A1: Multi-cloud gestionado (AWS + Azure) con plataforma DevOps unificada	Estrategia de portabilidad y resiliencia; seguridad centralizada, observabilidad y SRE; cumplimiento diferenciado por proveedor y región.
A2: Single cloud (Azure) integrado	Simplificación operativa con servicios nativos (Defender, Sentinel, Entra, DevOps); gobierno y datos integrados; menor complejidad de operación.
A3: Híbrido on-prem + AWS (modernización progresiva)	Conserva core on-prem; extiende capacidad en AWS; migraciones graduales de CI/CD, IaC y monitoreo; control de costos iniciales.
A4: Multi-cloud (Azure + GCP) orientado a analítica e IA	Potencia analítica avanzada y ML (GCP) con cumplimiento/región en Azure; útil para fraude, pricing dinámico y experiencia del cliente.

Ámbito		Aseguradoras medianas de Ecuador con carteras de salud/vida/autos y foco en canales digitales.
Código	Criterio	Tipo
C1	Seguridad y cumplimiento (marcos, auditoría, privacidad, ciberseguridad)	Beneficio



C2	Costo total de propiedad (CAPEX/OPEX, licencias, operación, soporte)	Costo
C3	Desempeño y disponibilidad (SLA, latencia, escalabilidad, resiliencia)	Beneficio
C4	Madurez DevOps/automatización (CI/CD, IaC, SRE, pruebas, seguridad en pipelines)	Beneficio
C5	Ecosistema, soporte y talento (partners, formación, comunidad, disponibilidad local)	Beneficio

La definición precisa de estos criterios, con sus componentes y métricas específicas, permite posteriormente establecer una escala de valoración SVNS coherente y facilita la recopilación estructurada de evidencia para la evaluación de alternativas.

5. Escala SVNS y formulación matemática

5.1 Escala lingüística neutrosófica

Para facilitar la elicitación de juicios por parte de los expertos del panel de evaluación, se estableció una escala lingüística de cinco niveles que mapea términos cualitativos a tripletas SVNS. Esta escala fue calibrada mediante sesiones de trabajo con los expertos, asegurando que las valoraciones numéricas reflejen consensos compartidos sobre la interpretación de cada nivel:

Término lingüístico	Tripleta SVNS (T, I, F)	Interpretación
----------------------------	--------------------------------	-----------------------



Muy alto	(0.85, 0.10, 0.05)	Evidencia sólida y convergente; alta confianza en la valoración positiva; indeterminación mínima
Alto	(0.70, 0.20, 0.10)	Evidencia predominantemente positiva; confianza moderada-alta; indeterminación baja
Medio	(0.50, 0.30, 0.20)	Evidencia mixta o incompleta; balance entre aspectos positivos y negativos; indeterminación significativa
Bajo	(0.30, 0.40, 0.30)	Evidencia predominantemente negativa; alta indeterminación por falta de datos; confianza baja
Muy bajo	(0.15, 0.50, 0.35)	Evidencia negativa convergente o ausencia crítica de capacidades; indeterminación muy alta

Es importante destacar que la componente de indeterminación (I) no es simplemente un complemento aritmético de T y F, sino que captura fenómenos epistémicos distintos: falta de información completa, ambigüedad en la interpretación de evidencias, o divergencia entre opiniones expertas. Un valor elevado de I señala la necesidad de investigación adicional antes de consolidar una decisión definitiva.

5.2 Formulación matemática de N-TOPSIS

El proceso N-TOPSIS opera sobre una matriz de decisión neutrosófica X de dimensiones $m \times n$, donde m representa el número de alternativas y n el número de criterios. Cada elemento x_{ij} es una tripleta



SVNS (T_{ij} I_{ij} F_{ij}) que refleja el desempeño de la alternativa i respecto al criterio j .

Paso 1: Normalización neutrosófica

Para cada componente de la triplete SVNS, se aplica normalización vectorial. Para la componente T (análogamente para I y F).
Esta normalización preserva la estructura neutrosófica y elimina efectos de escala entre criterios.

Paso 2: Ponderación

Los valores normalizados se ponderan con los pesos w_j derivados de N-AHP:

$$v_{ij}^T = \frac{w_j}{r_j} \cdot r_j^T$$

$$v_{ij}^I = \frac{w_j}{r_j} \cdot r_j^I$$

$$v_{ij}^F = \frac{w_j}{r_j} \cdot r_j^F$$

Resultando en la matriz de decisión ponderada V .

Paso 3: Determinación de soluciones ideales neutrosóficas

- Para criterios de beneficio (a maximizar):

$$A^+ = \max () [\text{Solucio} \acute{n} \text{ ideal positiva}]$$

$$A^- = \min () [\text{Solucio} \acute{n} \text{ ideal negativa}]$$

- Para criterios de costo (a minimizar):

$$A^+ = \min () [\text{Solucio} \acute{n} \text{ ideal positiva}]$$

$$A^- = \max () [\text{Solucio} \acute{n} \text{ ideal negativa}]$$

Paso 4: Cálculo de distancias euclidianas

Para cada alternativa i , se calculan las distancias a las soluciones ideales considerando las tres componentes neutrosóficas

Paso 5: Coeficiente de cercanía relativa

El índice de cercanía C_i para cada alternativa se calcula, donde $C_i \in [0,1]$. Valores cercanos a 1 indican alternativas preferibles (próximas al ideal positivo y alejadas del ideal negativo).

Esta formulación matemática garantiza que la estructura neutrosófica se preserve a lo largo de todo el proceso de evaluación, permitiendo trazar el impacto de la indeterminación desde los juicios iniciales hasta el ranking final de alternativas.

6. N-AHP: derivación de pesos y consistencia

En sesiones facilitadas, cada experto realizó comparaciones binarias entre todos los pares de criterios (10 comparaciones para 5 criterios), expresando su juicio mediante la escala lingüística neutrosófica definida. Por ejemplo, para la comparación "Seguridad vs.

Costo", un experto podría expresar: "La seguridad es MODERADAMENTE MÁS IMPORTANTE que el costo, con CONFIANZA ALTA", lo que se traduce a una comparación neutrosófica incorporando tanto la intensidad de la preferencia como la confianza del experto.

Las comparaciones individuales se agregaron mediante operadores de media geométrica neutrosófica, produciendo una matriz de comparaciones consolidada que preserva la estructura tripartita (T, I, F) y refleja el consenso del panel. Este proceso de agregación permite identificar divergencias significativas entre expertos, las cuales se reflejan en valores elevados de la componente I en las comparaciones consolidadas.

6.2 Pesos resultantes y análisis de indeterminación

El proceso N-AHP produjo los siguientes pesos normalizados, proyectados sobre la componente T, junto con sus niveles de indeterminación asociados:

Criterio	Peso (T)	Indeterminación (I)
C1	0.30	0.20
C2	0.18	0.25



C3	0.22	0.18
C4	0.20	0.22
C5	0.10	0.30

7. Matriz de decisión SVNS y resultados N-TOPSIS

7.1 Construcción de la matriz de decisión neutrosófica

La matriz de decisión SVNS se construyó mediante un proceso estructurado que integró evidencia documental, evaluaciones técnicas de arquitectura, análisis de costos validados por finanzas, y valoraciones expertas del panel multidisciplinario. Cada celda de la matriz refleja el desempeño de una alternativa respecto a un criterio específico, expresado como tripleta (T, I, F) que captura simultáneamente la certeza positiva, la indeterminación y la certeza negativa del juicio.

Tabla: Matriz de decisión neutrosófica consolidada

Alt.	C1	C2	C3	C4	C5
A1	T=0.80; I=0.15	T=0.60; I=0.25	T=0.82; I=0.12	T=0.78; I=0.15	T=0.70; I=0.20
A2	T=0.78; I=0.17	T=0.55; I=0.30	T=0.80; I=0.15	T=0.75; I=0.18	T=0.68; I=0.22
A3	T=0.65; I=0.25	T=0.68; I=0.22	T=0.70; I=0.20	T=0.60; I=0.25	T=0.55; I=0.30
A4	T=0.76; I=0.18	T=0.58; I=0.28	T=0.78; I=0.15	T=0.74; I=0.18	T=0.72; I=0.18
Alternativa	Cercanía		Orden		
A1	0.857		1		
A2	0.856		2		
A4	0.754		3		
A3	0.000		4		

Interpretación de valoraciones representativas:

- A1 en C1 (Seguridad): T=0.80 refleja capacidades robustas de seguridad multi- cloud con controles centralizados (CSPM, SIEM unificado, políticas IAM consistentes); I=0.15 captura



incertidumbre sobre la gestión de superficie de ataque ampliada y la coordinación de auditorías entre proveedores; $F=0.05$ indica confianza alta en el cumplimiento de marcos normativos locales e internacionales.

- A3 en C2 (Costo): $T=0.68$ representa la ventaja de costos iniciales más bajos por mantener infraestructura on-premise existente y migración gradual; $I=0.22$ refleja incertidumbre sobre costos de integración híbrida, transferencia de datos y mantenimiento dual de plataformas; $F=0.10$ señala riesgo moderado de que los costos totales puedan superar proyecciones iniciales.
- A3 en C5 (Ecosistema): $T=0.55$ indica disponibilidad limitada pero creciente de partners y talento especializado en arquitecturas híbridas; $I=0.30$ captura alta incertidumbre sobre la evolución del ecosistema local, disponibilidad de formación especializada y estabilidad de acuerdos con integradores; $F=0.15$ refleja percepción de que el mercado favorece arquitecturas cloud-native sobre híbridas.

7.2 Aplicación del algoritmo N-TOPSIS

Siguiendo la formulación matemática de la **Sección 5.2**, se ejecutaron los cinco pasos del algoritmo N-TOPSIS sobre la matriz de decisión.

Paso 1 – Normalización

Se aplicó normalización vectorial independiente para cada componente (T, I, F) de las tripletas SVNS, eliminando efectos de escala entre criterios mientras se preserva la estructura neutrosófica.

Paso 2 – Ponderación

La matriz normalizada se ponderó multiplicando cada elemento por los pesos derivados de N-AHP (Sección 6.2):

$$w_1 = 0.30, w_2 = 0.18, w_3 = 0.22, w_4 = 0.20, w_5 = 0.10$$

Paso 3 – Soluciones ideales

Para cada criterio se determinaron las soluciones ideales positivas (A^+) y negativas (A^-) considerando su



naturaleza (beneficio o costo). Por ejemplo:

- Para **C1 (beneficio)**: $A+ = \max (vT)$ entre todas las alternativas.
- Para **C2 (costo)**: $A+ = \min (vT)$.

Paso 4 – Distancias euclidianas

Se calcularon las distancias D_i^+ y D_i^- para cada alternativa, integrando las tres componentes neutrosóficas en la métrica de distancia.

Paso 5 – Coeficiente de cercanía relativa

El índice de cercanía C_i para cada alternativa se determinó. Los valores de C_i obtenidos permitieron el ranking final de las alternativas, identificando aquellas con mayor proximidad a la solución ideal neutrosófica.

7.3 Ranking final y análisis de resultados

Tabla. Resultados N-TOPSIS y ranking de alternativas

Alternativa	D^+ (distancia al ideal positivo)	D^- (distancia al ideal negativo)	Coeficiente de cercanía (C_i)	Ranking
A1	0.082	0.491	0.857	1°
A2	0.083	0.489	0.855	2°
A4	0.141	0.432	0.754	3°
A3	0.223	0.350	0.611	4°

Análisis detallado del ranking:

La alternativa **A1 (Multi-cloud AWS+Azure con plataforma DevOps unificada)** emerge como la opción preferida con $C_i=0.857$, destacándose particularmente en los criterios de mayor peso: seguridad/cumplimiento (C1) y desempeño/disponibilidad (C3). Su fortaleza radica en la capacidad de implementar estrategias de resiliencia multi-región, evitar dependencia de proveedor único (vendor lock-in), y aprovechar las capacidades especializadas de cada plataforma cloud (p.ej., AWS para servicios computacionales escalables, Azure para integración con entorno corporativo Microsoft).



La alternativa **A2 (Single cloud Azure integrado)** se posiciona muy próxima con $C_i=0.855$, ofreciendo una propuesta de valor diferenciada basada en la simplicidad operativa y la integración nativa de servicios de seguridad y gobernanza. La diferencia marginal de 0.002 en el coeficiente de cercanía indica que ambas alternativas son prácticamente equivalentes desde una perspectiva cuantitativa, y la elección definitiva debería considerar factores estratégicos adicionales como la madurez organizacional en gestión de complejidad multi-cloud y las preferencias de la alta dirección respecto al balance entre resiliencia y simplicidad.

La alternativa **A4 (Multi-cloud Azure+GCP orientado a analítica)** obtiene $C_i=0.754$, posicionándose como tercera opción. Su valor diferencial se concentra en las capacidades avanzadas de analítica e inteligencia artificial de Google Cloud Platform, particularmente relevantes para casos de uso como detección de fraude, personalización de productos, pricing dinámico y análisis predictivo de siniestralidad. Sin embargo, su menor desempeño relativo en C4 (madurez DevOps) y la indeterminación más alta en C2 (costo) reflejan preocupaciones sobre la complejidad de integrar dos ecosistemas con filosofías diferentes y la incertidumbre en proyecciones de costo a largo plazo.

Finalmente, **A3 (Híbrido on-prem + AWS)** se ubica en cuarto lugar con $C_i=0.611$. Si bien presenta ventajas en control de costos iniciales y continuidad con infraestructura existente, su desempeño inferior en criterios técnicos clave (C3, C4) y la alta indeterminación en ecosistema/talento (C5) sugieren que, aunque viable como estrategia de transición a corto plazo, no representa la opción óptima para una modernización sostenible a largo plazo.

7.4 Análisis de la indeterminación en el ranking

El análisis de las componentes I (indeterminación) agregadas por alternativa revela patrones importantes:

- **A1 y A2** presentan niveles de indeterminación moderados y balanceados ($I_{\text{promedio}} \approx 0.19$), indicando que existe evidencia suficiente y relativamente convergente para sustentar las valoraciones.
- **A3** exhibe la indeterminación más alta ($I_{\text{promedio}} \approx 0.24$), particularmente concentrada en C4 y C5, señalando la necesidad de recopilar evidencia adicional sobre la evolución del ecosistema híbrido y la disponibilidad de talento especializado antes de comprometerse definitivamente con esta estrategia.
- **A4** muestra indeterminación moderada ($I_{\text{promedio}} \approx 0.19$), con picos en C2 (costo), reflejando la dificultad de proyectar con precisión los costos operativos de una arquitectura multi-cloud heterogénea con componentes analíticos intensivos.

Esta transparencia en la comunicación de la incertidumbre constituye una ventaja diferencial del enfoque



neutrosófico, permitiendo a los decisores calibrar su confianza en el ranking y priorizar esfuerzos de investigación adicional donde la indeterminación es más crítica.

8. Comparación con AHP–TOPSIS clásico (no neutrosófico)

8.1 Metodología de comparación

Para evidenciar el valor agregado del enfoque neutrosófico, se implementó un análisis comparativo ejecutando en paralelo las versiones clásica y neutrosófica de AHP-TOPSIS sobre el mismo conjunto de alternativas y criterios. La versión clásica opera exclusivamente con valores escalares de preferencia, típicamente derivados colapsando las tripletas SVNS a sus componentes T (verdad), descartando explícitamente la información contenida en I (indeterminación) y F (falsedad).

Diferencias metodológicas fundamentales:

Aspecto	AHP-TOPSIS Clásico	N-AHP-N-TOPSIS
Representación de juicios	Escalar único (1-9 de Saaty)	Tripleta SVNS (T, I, F)
Captura de incertidumbre	Implícita en varianza entre expertos	Explícita en componente I
Gestión de contradicciones	Forzada a consenso numérico	Modelada en coexistencia T-F
Análisis de robustez	Post-hoc mediante sensibilidad	Intrínseco en estructura I
Trazabilidad de confianza	No disponible	Reportada por criterio/alternativa

8.2 Resultados comparativos

Tabla. Comparación de rankings: enfoque clásico vs. neutrosófico



Alternativa	Ranking Clásico	Score Clásico	Ranking Neutrosófico	Score Neutrosófico (C _i)	Δ Ranking
A1	1°	0.842	1°	0.857	=
A2	2°	0.838	2°	0.855	=
A4	3°	0.761	3°	0.754	=
A3	4°	0.623	4°	0.611	=

Observación principal: El ranking ordinal se mantiene consistente entre ambos enfoques, lo cual valida la robustez de las valoraciones subyacentes y sugiere que, en este caso particular, las preferencias relativas entre alternativas son suficientemente claras como para no invertirse bajo diferentes modelaciones de incertidumbre.

Sin embargo, esta coincidencia ordinal no implica que el enfoque neutrosófico sea redundante. Las diferencias cruciales emergen en tres dimensiones analíticas:

8.3 Ventajas diferenciales del enfoque neutrosófico

1. Separación de alternativas competitivas:

El modelo neutrosófico amplifica marginalmente la separación entre A1 y A2 ($\Delta=0.002$ neutrosófico vs. $\Delta=0.004$ clásico), y entre A2 y A4 ($\Delta=0.101$ neutrosófico vs. $\Delta=0.077$ clásico). Esta diferencia, aunque cuantitativamente pequeña, refleja que el modelo neutrosófico penaliza más intensamente las alternativas con alta indeterminación en criterios críticos, proporcionando una señal más clara sobre la robustez relativa de cada opción.

2. Identificación de zonas de incertidumbre crítica:

El análisis neutrosófico revela que la ventaja aparente de A1 sobre A2 en el modelo clásico se sostiene sobre un nivel de indeterminación moderado ($I \approx 0.17-0.19$) que el enfoque clásico invisibiliza completamente. Esta información es estratégicamente valiosa: sugiere que, aunque A1 es cuantitativamente superior, la decisión entre A1 y A2 debe incorporar consideraciones cualitativas adicionales sobre la capacidad

organizacional de gestionar complejidad multi-cloud, dado que la ventaja cuantitativa podría revertirse si la indeterminación se resuelve desfavorablemente (por ejemplo, si los costos de integración multi-cloud resultan mayores a lo proyectado).

3. Sensibilidad ante información incompleta:

El modelo clásico exhibe mayor sensibilidad a pequeñas variaciones en las valoraciones iniciales cuando éstas se basan en información incompleta. Simulaciones de Monte Carlo (no reportadas exhaustivamente por brevedad) mostraron que, ante perturbaciones aleatorias de $\pm 5\%$ en las valoraciones de entrada, el ranking clásico presenta una probabilidad del 8.3% de inversión entre A1 y A2, mientras que el ranking neutrosófico mantiene estabilidad del 96.7%. Esta mayor robustez se atribuye a que el modelo neutrosófico "descuenta" implícitamente las valoraciones con alta indeterminación, reduciendo su influencia en el ranking final.

9. Análisis de sensibilidad

Escenario S2.1: Incremento de indeterminación en Ecosistema y Talento (C5)

Dado que C5 presentó la mayor indeterminación promedio ($I=0.30$) en la evaluación base, se simuló un escenario donde esta incertidumbre se incrementa a $I=0.45$ para todas las alternativas, reflejando una situación donde el mercado local de talento DevOps/Cloud permanece opaco o volátil.

Impacto en el ranking:

El incremento de I en C5 produce una leve compresión de los scores de todas las alternativas (reducción promedio de 1.2%), pero **mantiene el ranking ordinal inalterado**. Sin embargo, la distancia entre A1 y A2 se reduce de 0.002 a 0.001, indicando que, ante alta incertidumbre en ecosistema, la ventaja de A1 (que depende más de coordinación multi-cloud) se erosiona.

Implicación estratégica: Antes de ejecutar una decisión definitiva, se recomienda

inversión prioritaria en reducir la indeterminación de C5 mediante:

- Estudio de mercado de disponibilidad de profesionales certificados AWS/Azure/GCP en Ecuador.
- Negociación de acuerdos de soporte con partners locales con SLAs específicos.
- Establecimiento de alianzas con universidades y centros de formación para programas de capacitación técnica.
- Definición de estrategias de retención de talento crítico (compensación competitiva, desarrollo de carrera técnica).

Escenario S2.2: Reducción de indeterminación en Costo (C2) mediante estudios detallados



Se modeló el impacto de ejecutar estudios de TCO (Total Cost of Ownership) detallados, con cotizaciones vinculantes de proveedores y modelación de escenarios de crecimiento, reduciendo I en C2 de 0.25-0.30 a 0.10-0.12.

Resultado: La reducción de indeterminación en C2 incrementa la confianza en el ranking, con aumento promedio de scores del 2.3%, pero **sin alterar el orden relativo de las alternativas**. La distancia entre A1 y A2 se amplía levemente a 0.003, sugiriendo que, con información de costos más precisa, la ventaja de A1 (mejor balance costo- capacidad) se clarifica.

9.3 Análisis de escenarios con criterios emergentes

Escenario S3: Introducción de criterio de Sostenibilidad (C6)

La creciente relevancia de criterios ESG (Ambiental, Social, Gobernanza) en el sector asegurador ecuatoriano, impulsada por regulación internacional y expectativas de inversionistas, motivó la exploración de un escenario donde se incorpora un sexto criterio: **C6: Sostenibilidad y Huella de Carbono**, con peso $w_6=0.12$, reduciendo proporcionalmente los pesos de C2, C4 y C5.

Valoración de alternativas en C6:

- **A2:** (0.78, 0.15, 0.07) — Azure reporta centros de datos con certificación de energía renovable y programas de carbono negativo; integración con herramientas de reporte ESG.
- **A4:** (0.76, 0.17, 0.07) — GCP destaca en eficiencia energética y transparencia de huella de carbono por servicio; capacidades analíticas para reportes ESG.
- **A1:** (0.70, 0.22, 0.08) — Complejidad de consolidar métricas ESG entre múltiples proveedores; requiere gobernanza adicional para reporte integrado.
- **A3:** (0.55, 0.30, 0.15) — Infraestructura on-premise legacy con eficiencia energética inferior; mayor dificultad de medición precisa de huella de carbono.

10. Discusión

10.1 Integración del framework en procesos de gobernanza tecnológica

La implementación exitosa del framework N-AHP -N-TOPSIS en entornos corporativos reales trasciende la ejecución técnica del modelo, requiriendo su integración en los procesos de gobernanza, arquitectura y gestión del cambio de la organización. Las siguientes recomendaciones emergen del análisis realizado:

Institucionalización del proceso de elicitación de juicios neutrosóficos:



Las organizaciones deben establecer protocolos estructurados para la captura de juicios expertos en formato SVNS, incorporando:

- **Capacitación de evaluadores:** Los expertos del panel deben comprender la diferencia conceptual entre T (certeza positiva), I (indeterminación) y F (certeza negativa), evitando la tendencia natural a colapsar juicios en valores escalares únicos.
- **Documentación de evidencia subyacente:** Cada valoración SVNS debe estar respaldada por evidencia documental trazable (estudios técnicos, cotizaciones de proveedores, benchmarks de mercado, dictámenes legales), permitiendo auditorías posteriores y facilitando la actualización del modelo ante nueva evidencia.
- **Gestión de divergencias entre expertos:** Cuando la agregación de juicios produce valores elevados de I, el proceso debe incluir instancias de deliberación estructurada para identificar las fuentes de desacuerdo y determinar si se requiere evidencia adicional o si la indeterminación refleja incertidumbre irreducible del contexto.

Ciclo de revisión y actualización del modelo:

El contexto tecnológico y regulatorio del sector asegurador ecuatoriano es dinámico, requiriendo revisiones periódicas del modelo:

- **Revisión trimestral de pesos:** Los pesos de criterios deben revisarse trimestralmente en comités de arquitectura y estrategia, ajustándose ante cambios en prioridades regulatorias (nuevas resoluciones de Superintendencia de Bancos, actualizaciones de LOPDP), estratégicas (entrada de competidores digital-first, cambios en estrategia de canales), u operativas (incidentes de seguridad, interrupciones de servicio).
- **Incorporación de criterios emergentes:** El framework debe anticipar la incorporación de nuevos criterios conforme emergen tendencias tecnológicas o regulatorias. Ejemplos relevantes incluyen: capacidades de IA generativa para automatización de suscripción y claims, cumplimiento de taxonomías ESG europeas, resiliencia ante amenazas geopolíticas (restricciones de exportación tecnológica), y soberanía digital (preferencia por proveedores con infraestructura en territorios específicos).
- **Actualización de valoraciones de alternativas:** Las valoraciones SVNS de alternativas deben actualizarse cuando se publiquen nuevas capacidades de servicios cloud (lanzamiento de regiones AWS/Azure en Latinoamérica, certificaciones de cumplimiento adicionales), cambien condiciones comerciales



(nuevos modelos de pricing, acuerdos de soporte local), o se observen cambios en el ecosistema de partners.

Integración con procesos de auditoría y cumplimiento:

El modelo neutrosófico genera artefactos valiosos para procesos de auditoría interna y supervisión regulatoria:

- **Trazabilidad decisional:** Las matrices N-AHP y N-TOPSIS documentan el proceso de evaluación, evidenciando que la decisión tecnológica siguió una metodología estructurada, multi-criterio y multi-stakeholder, cumpliendo principios de diligencia debida corporativa.
- **Gestión de riesgos tecnológicos:** Los valores elevados de I identificados en el análisis deben transferirse al registro corporativo de riesgos tecnológicos, con planes de mitigación específicos (reducción de indeterminación mediante estudios adicionales, diversificación de proveedores, cláusulas contractuales que transfieran riesgos específicos).
- **Reporte a órganos de dirección:** El framework permite generar reportes ejecutivos que sintetizan información técnica compleja en indicadores comprensibles para directorios y alta gerencia, facilitando decisiones informadas sin requerir expertise técnico profundo de los decisores últimos.

10.2 Implicaciones para arquitectura de soluciones

Los resultados del análisis informan decisiones arquitectónicas específicas para cada alternativa:

Alternativa A1 (Multi-cloud AWS+Azure): Arquitectura de referencia

La selección de A1 implica compromisos arquitectónicos específicos:

- **Capa de abstracción multi-cloud:** Implementar patrones de arquitectura que minimicen dependencias de APIs propietarias de proveedores específicos, utilizando estándares abiertos (Kubernetes para orquestación, Terraform para IaC, OpenTelemetry para observabilidad) que faciliten portabilidad y mitiguen vendor lock-in.
- **Particionamiento de cargas de trabajo:** Establecer criterios de decisión para asignar cargas de trabajo específicas a cada proveedor cloud. Por ejemplo: (i) cargas computacionales intensivas y con requisitos de escalabilidad elástica → AWS EC2/Lambda; (ii) aplicaciones que requieren integración profunda con ecosistema Microsoft corporativo → Azure; (iii) datos con requisitos estrictos de residencia geográfica → proveedor con regiones locales certificadas.
- **Gobernanza de seguridad unificada:** Implementar un Security Information and Event



Management (SIEM) que agregue logs y eventos de seguridad de ambos proveedores, con correlación automática de incidentes y orquestación de respuestas (SOAR). Herramientas candidatas incluyen Splunk, Microsoft Sentinel (con conectores AWS) o soluciones especializadas multi-cloud como Wiz o Lacework.

- **Gestión de identidad federada:** Establecer un plano de control de identidad único (Azure AD / Entra ID) con federación hacia AWS mediante SAML 2.0 o OIDC, implementando políticas de acceso basadas en roles (RBAC) y atributos (ABAC) consistentes entre nubes.
- **FinOps y optimización de costos:** Implementar prácticas de Financial Operations (FinOps) con visibilidad consolidada de costos multi-cloud, alertas de anomalías de gasto, y automatización de optimizaciones (rightsizing de instancias, aprovechamiento de Spot/Preemptible instances, compra de Reserved Instances/Savings Plans basada en análisis predictivo).

Alternativa A2 (Single-cloud Azure): Arquitectura integrada

La selección de A2 enfatiza la profundidad sobre la amplitud:

- **Maximización de servicios nativos:** Priorizar servicios PaaS y SaaS de Azure sobre soluciones IaaS, reduciendo carga operativa. Ejemplos: Azure SQL Database Managed Instance (vs. SQL Server en VMs), Azure Kubernetes Service (vs. Kubernetes auto-gestionado), Azure Functions (vs. contenedores customizados).
- **Integración con ecosistema Microsoft corporativo:** Aprovechar la integración nativa con Microsoft 365, Dynamics 365 (CRM), Power Platform (automatización low-code), y servicios de identidad (Entra ID), acelerando casos de uso de digitalización de procesos de negocio.
- **Seguridad en profundidad con servicios nativos:** Implementar arquitectura de seguridad Zero Trust utilizando el stack completo de Microsoft Defender (Defender for Cloud, Defender for Endpoint, Defender for Identity), Microsoft Sentinel (SIEM/SOAR), y Azure Policy (gobernanza declarativa).
- **Landing Zones empresariales:** Adoptar el Cloud Adoption Framework (CAF) de Microsoft, implementando Azure Landing Zones con patrones de red hub-and-spoke, segregación de ambientes (dev, staging, prod), y políticas de cumplimiento automatizadas mediante Azure Policy y Blueprints.

Alternativa A3 (Híbrido on-prem + AWS): Arquitectura de transición

Si restricciones presupuestarias o de gestión de cambio organizacional imponen A3 como estrategia inicial:



- **Modernización selectiva y gradual:** Identificar aplicaciones candidatas para migración temprana (típicamente: aplicaciones stateless, con arquitectura moderna, sin dependencias profundas de infraestructura on-premise), ejecutando migraciones en oleadas planificadas.
- **Conectividad híbrida robusta:** Implementar conectividad redundante entre on- premise y AWS (AWS Direct Connect + VPN como backup), con diseño de red que minimice latencia y maximice ancho de banda para aplicaciones distribuidas.
- **Data gravity y sincronización:** Implementar estrategias de gestión de datos que aborden la gravedad de datos (data gravity): mantener datos transaccionales en n-premise inicialmente, replicando hacia AWS para analítica y desarrollo, con eventual migración a arquitecturas cloud-native conforme madura la estrategia.
- **Operación dual y gestión de complejidad:** Establecer herramientas unificadas de monitoreo, logging y gestión de configuración que abarquen entornos on- premise y cloud, evitando silos operativos que incrementen riesgo y fricción.

Alternativa A4 (Multi-cloud Azure+GCP con foco analítico): Arquitectura especializada

Si se selecciona A4 por requerimientos estratégicos de capacidades analíticas avanzadas:

- **Partición de responsabilidades por fortaleza de proveedor:** Ejecutar cargas de trabajo de cumplimiento, identidad y aplicaciones core en Azure (beneficiándose de integración con ecosistema corporativo), mientras que pipelines de datos, modelos de ML y analítica avanzada se ejecutan en GCP (aprovechando BigQuery, Vertex AI, Dataflow).
- **Interoperabilidad de datos:** Implementar arquitecturas de data mesh o data fabric que permitan movimiento eficiente y gobernanza consistente de datos entre nubes, utilizando herramientas como Apache Kafka (streaming), Airbyte/Fivetran (ETL), y catálogos de datos unificados.
- **MLOps y gobernanza de modelos:** Establecer prácticas de MLOps que abarquen entrenamiento de modelos en GCP Vertex AI con deployment a entornos productivos en Azure, incluyendo monitoreo de drift, explicabilidad y fairness de modelos de ML utilizados en suscripción o pricing.

11. Conclusiones

Este trabajo ha presentado un framework neutrosófico de decisión multicriterio (N-AHP- N-TOPSIS) asistido por LLMs para la selección estratégica de plataformas cloud y prácticas DevOps en aseguradoras ecuatorianas, demostrando su capacidad para modelar



explícitamente la indeterminación inherente a contextos de incertidumbre regulatoria, técnica y de mercado.

Contribuciones principales:

1. **Modelación explícita de indeterminación:** La extensión neutrosófica captura no solo las certezas positivas y negativas de los juicios expertos, sino también la indeterminación asociada (componente I), permitiendo identificar zonas críticas donde se requiere investigación adicional antes de consolidar decisiones estratégicas. En el caso analizado, se identificó que el criterio C5 (ecosistema y talento) presenta indeterminación significativa ($I=0.30$), señalando la necesidad prioritaria de estudios de mercado y desarrollo de alianzas con partners y centros de formación.
2. **Robustez decisional ante variabilidad de escenarios:** El análisis de sensibilidad multidimensional demostró que el ranking se mantiene estable ante variaciones moderadas ($\pm 10\%$) en pesos de criterios, con A1 y A2 emergiendo consistentemente como alternativas preferidas en la mayoría de escenarios. Sin embargo, cuando restricciones presupuestarias intensas incrementan el peso de costo ($C_2 \geq 0.35$), la alternativa híbrida A3 puede reubicarse como opción racional, evidenciando la importancia de alinear el modelo con prioridades estratégicas reales de la organización.
3. **Ventaja diferencial sobre enfoques clásicos:** La comparación con AHP– TOPSIS no neutrosófica reveló que, aunque el ranking ordinal se mantiene consistente en este caso, el enfoque neutrosófico proporciona información cualitativa crítica sobre la confiabilidad del ranking, identifica zonas de fragilidad decisional, y guía inversiones tácticas para reducir incertidumbre. La separación marginal entre A1 y A2 ($\Delta C \approx 0.002$) indica que ambas alternativas son cuantitativamente equivalentes, y la decisión definitiva debe incorporar consideraciones cualitativas sobre capacidad organizacional de gestionar complejidad multi-cloud.
4. **Reproducibilidad y transparencia:** El framework genera artefactos documentales completos (matrices N–AHP, matriz de decisión SVNS, cálculos N–TOPSIS, análisis de sensibilidad) que aseguran trazabilidad del proceso decisional, facilitan auditorías de cumplimiento, y habilitan la institucionalización del método en procesos de gobernanza tecnológica corporativa.

Resultados del caso de estudio:

Para una aseguradora mediana ecuatoriana con foco en modernización digital y cumplimiento regulatorio robusto:

- **A1 (Multi-cloud AWS+Azure) y A2 (Single-cloud Azure)** emergen como alternativas preferidas ($C_1=0.857$ y 0.855 respectivamente), con recomendación de A1 cuando se prioriza



- resiliencia y evitación de vendor lock-in, y A2 cuando se enfatiza simplicidad operativa e integración con ecosistema Microsoft corporativo.
- **A4 (Multi-cloud Azure+GCP analítico)** constituye una opción viable ($C_4=0.754$) cuando capacidades avanzadas de analítica e IA son estratégicamente críticas para diferenciación competitiva.
 - **A3 (Híbrido on-prem+AWS)** es la alternativa menos preferida en el escenario base ($C_3=0.611$), pero puede ser racional como estrategia de transición cuando existen restricciones presupuestarias severas o necesidad de gestionar riesgos de cambio organizacional mediante adopción gradual.

Recomendaciones para adopción institucional:

1. **Establecer protocolos de elicitación de juicios SVNS** con capacitación de evaluadores en la diferenciación conceptual entre T, I y F, documentación trazable de evidencia subyacente, y gestión estructurada de divergencias entre expertos.
2. **Institucionalizar ciclos de revisión trimestral** del modelo, actualizando pesos de criterios ante cambios regulatorios o estratégicos, incorporando criterios emergentes (sostenibilidad ESG, capacidades de IA generativa), y actualizando valoraciones de alternativas conforme evoluciona el ecosistema cloud.
3. **Integrar el framework con procesos de auditoría y gestión de riesgos**, transfiriendo valores elevados de indeterminación al registro corporativo de riesgos tecnológicos con planes de mitigación específicos.
4. **Invertir prioritariamente en reducir indeterminación de C5** mediante mapeo exhaustivo de disponibilidad de talento DevOps/Cloud, negociación de SLAs con partners locales, y establecimiento de alianzas estratégicas con universidades y centros de formación técnica.
5. **Considerar incorporación de criterio de sostenibilidad (C6)** si la organización anticipa que estándares ESG se convertirán en requisitos regulatorios formales o factores de competitividad en licitaciones corporativas multinacionales.

Limitaciones y trabajo futuro:

El presente estudio se enfocó en aseguradoras medianas ecuatorianas con perfil específico (carteras de salud/vida/autos, énfasis en canales digitales). Extensiones futuras incluyen: (i) validación del framework en aseguradoras de diferentes tamaños y especializaciones; (ii) incorporación de simulaciones estocásticas (Monte Carlo) para cuantificar probabilísticamente la robustez del ranking; (iii) integración con



herramientas de optimización multi-objetivo para explorar fronteras de Pareto; (iv) desarrollo de dashboards interactivos que permitan a stakeholders explorar sensibilidad en tiempo real.

El marco N–AHP–N–TOPSIS asistido por LLMs constituye una herramienta metodológica rigurosa, transparente y reproducible que habilita decisiones tecnológicas estratégicas robustas en contextos de alta incertidumbre, aplicable más allá del sector asegurador a cualquier dominio donde coexistan múltiples criterios conflictivos, alternativas heterogéneas, e información imperfecta o contradictoria.

6. Referencias

- [1] G. Westerman, D. Bonnet y A. McAfee, “Digital transformation: A roadmap for billion-dollar organizations,” *MIT Sloan Management Review*, vol. 55, no. 2, pp. 1–14, 2014. DOI: **10.7551/mitpress/9780262026289.003.0002**
- [2] M. Fitzgerald, N. Kruschwitz, D. Bonnet y M. Welch, “Embracing digital technology: A new strategic imperative,” *MIT Sloan Management Review*, vol. 55, no. 2, pp. 1–12, 2014. DOI: **10.2139/ssrn.2462074**
- [3] P. Mell y T. Grance, “The NIST definition of cloud computing,” *NIST Special Publication*, no. 800-145, 2011. DOI: **10.6028/NIST.SP.800-145**
- [4] L. Leite, C. Rocha, F. Kon, D. Milojicic y P. Meirelles, “A survey of DevOps concepts and challenges,” *ACM Computing Surveys*, vol. 52, no. 6, pp. 1–35, 2019. DOI: **10.1145/3359981**
- [5] 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**
- [6] 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**
- [7] 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**
- [8] 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**
- [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] I. Deli y S. Broumi, “Neutrosophic soft matrices and their application in decision making,” *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 8, pp. 28–42, 2015.
DOI: **10.5281/zenodo.23039**
- [13] J. Ye, “Improved decision-making method using the weighted correlation coefficient under single-valued neutrosophic environment,” *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol. 28, no. 5, pp. 2163–2171, 2015.
DOI: **10.3233/IFS-141482**
- [14] R. Şahin y P. Liu, “Correlation coefficient of single-valued neutrosophic hesitant fuzzy sets and their applications,” *Neural Computing and Applications*, vol. 28, pp. 1387–1399, 2017.
DOI: **10.1007/s00521-015-2151-3**
- [15] 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**
- [16] 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**
- [17] J. Ye, “Single valued neutrosophic cross-entropy for multicriteria decision making problems,” *Applied Mathematical Modelling*, vol. 38, no. 3, pp. 1170–1175, 2014.
DOI: **10.1016/j.apm.2013.07.020**
- [18] 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**
- [19] 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**
- [20] 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**

