



**Sistema de Selección de Estrategias de Recuperación ante Desastres
(SS-ERD): AHP– TOPSIS y SVNS con Cadena de Expertos
para Continuidad del Negocio**

**Disaster Recovery Strategy Selection System (SS-ERD): AHP–
TOPSIS and SVNS with Expert Chain for Business Continuity**

Maico Alexander Almeida Almeida¹ -Laura Eledina Gutierrez Merchan²

¹Universidad Bolivariana del Ecuador, Guayaquil, Ecuador, ORCID:
<https://orcid.org/0009-0000-3041->

²Universidad Bolivariana del Ecuador, Guayaquil, Ecuador, 4296 -
<https://orcid.org/0009-0007-9211-9816>

Resumen

Las decisiones sobre sitios de recuperación ante desastres determinan la resiliencia operativa de servicios críticos (International Organization for Standardization, 2025). En la práctica, los parámetros clave (RTO, RPO, costos y controles de seguridad) se estiman con evidencia incompleta (Więckowski y Sałabun, 2023), lo que introduce contradicciones entre actores y rankings frágiles. Este trabajo diseña el artefacto SS-ERD para seleccionar entre Hot Site, Cold Site y DRaaS mediante AHP-TOPSIS y su extensión neutrosófica con SVNS. El proceso de decisión se apoyó en una Cadena Neutrosófica de Expertos implementada mediante Grandes Modelos de Lenguaje. Con cinco criterios, el TOPSIS clásico posiciona Hot Site en primer lugar por desempeño operativo, mientras que el enfoque neutrosófico favorece DRaaS al penalizar explícitamente la indeterminación y mejorar la estabilidad del top-1 bajo análisis de sensibilidad ($\pm 20\%$ en pesos) e incremento de indeterminación ($I \times 1.2$). Los resultados muestran que SS-ERD incrementa transparencia, auditabilidad y robustez para decisiones de continuidad del negocio.

Palabras claves: Continuidad del negocio; DRP; AHP; TOPSIS; SVNS; Neutrosophic CoE; DRaaS; MCDM.

Abstract

Decisions about disaster recovery sites determine the operational resilience of critical services. In practice, key parameters (RTO, RPO, costs, and security controls) are estimated with incomplete evidence, which introduces contradictions between actors and fragile rankings. This work designs the SS-ERD artifact to select between Hot Site, Cold Site, and DRaaS using AHP- TOPSIS and its neutrosophic extension with SVNS. The decision process was supported by a Neutrosophic Chain of Experts implemented using Large Language Models. With five criteria, classic TOPSIS ranks Hot Site first for operational performance, while the neutrosophic approach favors DRaaS by explicitly penalizing indeterminacy and improving the stability of the top-1 under sensitivity analysis ($\pm 20\%$ in weights) and increased indeterminacy ($I \times 1.2$). The results show that SS-ERD increases transparency, auditability, and robustness for business continuity decisions.

Keywords: Business continuity; DRP; AHP; TOPSIS; SVNS; Neutrosophic CoE; DRaaS; MCDM.

1. INTRODUCCIÓN

En continuidad del negocio, la selección del tipo de sitio de recuperación representa una decisión técnico-administrativa con implicaciones directas en la disponibilidad de servicios, la pérdida de datos y el costo total de resiliencia. Sin embargo, la evidencia para estimar RTO/RPO y costos suele ser parcial o contradictoria (pruebas DR esporádicas, variabilidad de proveedores, riesgos cibernéticos). Este estudio sigue el enfoque de Ciencia del Diseño: se construye y evalúa el artefacto SS-ERD, un sistema de apoyo a decisiones basado en AHP-TOPSIS, incorporando SVNS y una Cadena de Expertos para controlar consistencia, consenso y robustez. [7]

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Definición jerárquica del problema (SS-ERD)

Objetivo: seleccionar el tipo de sitio de recuperación. Alternativas: A1 Hot Site, A2 Cold Site, A3 DRaaS. Criterios: C1 RTO (COSTO), C2 RPO (COSTO), C3 OPEX mensual (COSTO), C4 Facilidad de activación (BENEFICIO), C5 Seguridad/resiliencia (BENEFICIO). [11].



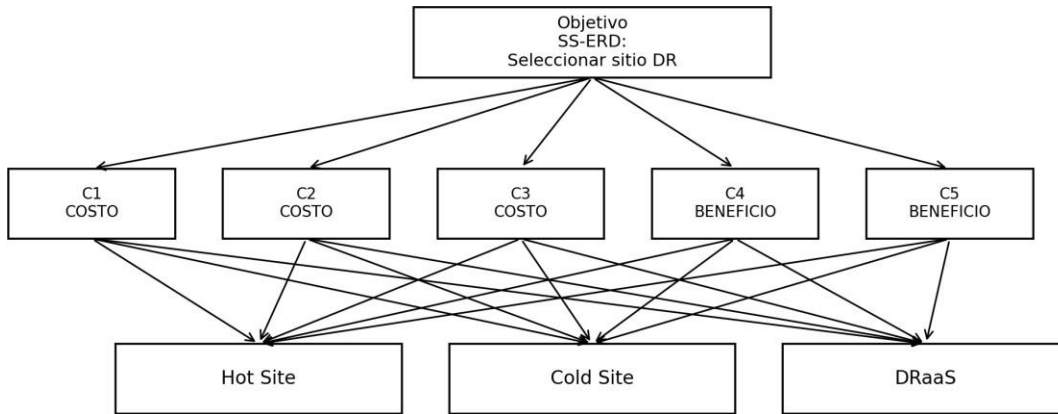


Figura 1 Jerarquía del SS-ERD (objetivo–criterios–alternativas).
Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

Tabla 1 Criterios y clasificación Costo/Beneficio.

CÓDIGO	CRITERIO	TIPO
C1	RTO (minimizar horas)	COSTO
C2	RPO (minimizar horas)	COSTO
C3	Costo operativo mensual (USD/mes)	COSTO
C4	Facilidad de activación (escala 1–9)	BENEFICIO
C5	Seguridad y resiliencia (escala 1–9)	BENEFICIO

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

2.2 Ponderación AHP y consistencia (CR)

Los pesos de criterios se obtienen mediante AHP. Se usa la media geométrica para el vector de prioridades y se valida la consistencia con $CR < 0.10$. (Saaty, 1987)

a) Media geométrica y pesos AHP

$$GM_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}, w_i = \frac{GM_i}{\sum_{k=1}^n GM_k}$$

b) Índice y ratio de consistencia

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, CR = \frac{CI}{RI}$$

Tabla 2 Matriz AHP de comparación por pares.

AHP	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1.0	3.0	5.0	5.0	3.0
C2	0.333	1.0	3.0	3.0	2.0
C3	0.2	0.333	1.0	2.0	0.5



C4	0.2	0.333	0.5	1.0	0.5
C5	0.333	0.5	2.0	2.0	1.0

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

Tabla 3 Pesos AHP ($\lambda_{max}=5.1150$, $CI=0.0288$, $CR=0.0257$).

CRITERIO	PESO (W_J)
C1	0.4673
C2	0.2262
C3	0.0925
C4	0.0698
C5	0.1442

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

2.3 TOPSIS clásico (baseline)

a) Normalización vectorial

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

b) Matriz ponderada

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}$$

c) Soluciones ideal positiva/negativa

Para criterios **beneficio**: $A^+ = \max_j v_{ij}$, $A^- = \min_j v_{ij}$.
 Para criterios **costo**: $A^+ = \min_j v_{ij}$, $A^- = \max_j v_{ij}$.

d) Distancias y coeficiente de cercanía

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^+)^2}, S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A_j^-)^2} \quad CC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

2.4 Extensión neutrosófica SVNS y Cadena de Expertos (CoE)

Para capturar incertidumbre e indeterminación, cada juicio se modela como SVNS $V=(T,I,F)$. Luego se aplica una función de puntuación $p(V)$ para ejecutar TOPSIS sobre valores en $[0,1]$. La Cadena de Expertos separa roles (Dominio, MCDM, Neutrosófico, Consenso, Agregación y Redacción) y controla contradicciones mediante reglas explícitas de consenso. [12].

a) Definición SVNS



$$V = (T, I, F), T, I, F \in [0,1]$$

b) Función de puntuación neutrosófica

$$p(V) = \left(\frac{(T - F) + 1}{2} \right) \cdot (1 - I)$$



c) Detalle de la Cadena de Expertos (CoE) y Reglas de Consenso



Entradas → matrices y juicios | Salidas → pesos, rankings, robustez y artefacto SS-ERD

Figura 2 Cadena de Expertos (CoE) aplicada en SS-ERD.

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

La Cadena de Expertos (Figura 2) no solo divide las tareas de manera modular, sino que actúa como un filtro de calidad. Para garantizar la robustez de las salidas (rankings), se aplican reglas de consenso durante la fase 4.

Ejemplo de Regla de Consenso: Si en el proceso de agregación se detecta que la diferencia entre la puntuación $p(V)$ de dos expertos para un mismo criterio es superior a un umbral de 0.2, el sistema dispara una alerta de discordancia. En este caso, no se procede a la agregación automática; en su lugar, se solicita una re-evaluación o una mesa de resolución (Fase 4: Consenso) para justificar o ajustar los juicios, minimizando así el impacto de sesgos u outliers.

3. RESULTADOS

Tabla 4 Matriz de decisión clásica (valores verosímiles).

ALTERNATIVA	C1	C2	C3	C4	C5
A1 HOT SITE	1.0	0.25	6000.0	9.0	7.0
A2 COLD SITE	24.0	12.0	1000.0	3.0	4.0
A3 DRAAS	4.0	1.0	3000.0	8.0	8.0

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

Tabla 5 Ranking TOPSIS clásico.

ALTERNATIVA	S+	S-	CC (CLÁSICO)	RANKING
A1 HOT SITE	0.0694	0.4961	0.8773	1
A2 COLD SITE	0.4972	0.0682	0.1206	3
A3 DRAAS	0.0655	0.4416	0.8709	2

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

Tabla 6 Mapeo SVNS y puntuación $p(V)$.

ALTERNATIVA	CRITERIO	SVNS (T,I,F)	P(V)
HOT SITE	C1	(0.85,0.20,0.05)	0.7200
HOT SITE	C2	(0.85,0.20,0.05)	0.7200
HOT SITE	C3	(0.35,0.45,0.20)	0.3162
HOT SITE	C4	(0.85,0.10,0.05)	0.8100
HOT SITE	C5	(0.70,0.20,0.10)	0.6400
COLD SITE	C1	(0.15,0.10,0.75)	0.1800



COLD SITE	C2	(0.20,0.15,0.65)	0.2338
COLD SITE	C3	(0.90,0.05,0.05)	0.8788
COLD SITE	C4	(0.30,0.15,0.55)	0.3187
COLD SITE	C5	(0.45,0.20,0.35)	0.4400
DRAAS	C1	(0.80,0.15,0.05)	0.7438
DRAAS	C2	(0.80,0.15,0.05)	0.7438
DRAAS	C3	(0.65,0.25,0.10)	0.5813
DRAAS	C4	(0.80,0.15,0.05)	0.7438
DRAAS	C5	(0.80,0.15,0.05)	0.7438

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

Tabla 7 Ranking SVNS-AHP-TOPSIS.

ALTERNATIVA	S+	S-	CC (NEUTROSÓFICO)	RANKING
HOT SITE	0.0507	0.2646	0.8393	2
COLD SITE	0.2779	0.0473	0.1454	3
DRAAS	0.0253	0.2784	0.9166	1

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

Interpretación: el baseline clásico prioriza Hot Site debido a RTO/RPO mínimos; en cambio, el enfoque neutrosófico favorece DRaaS al integrar explícitamente indeterminación en costos y controles, mejorando la trazabilidad y justificando el cambio de ranking[11].

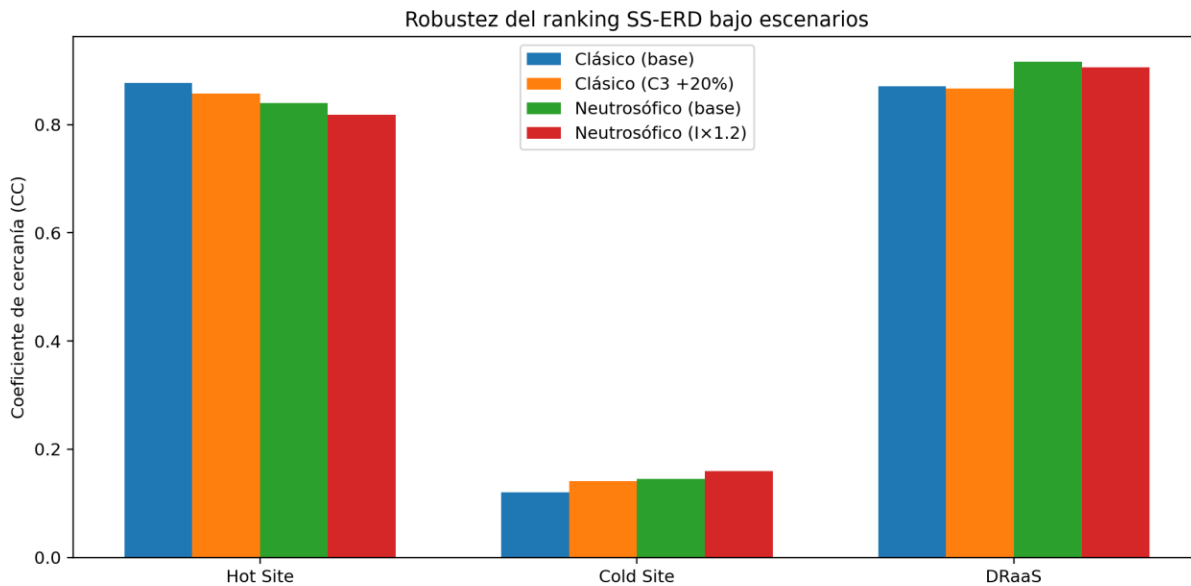


Figura 3 Robustez del ranking bajo escenarios (pesos e indeterminación).

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

SENSIBILIDAD Y ROBUSTEZ

Tabla 8 Sensibilidad: estabilidad del orden bajo escenarios.

ESCENARIO	CC HOT	CC COLD	CC DRAAS	ORDEN
CLÁSICO BASE	0.8773	0.1206	0.8709	Hot > DRaaS > Cold



CLÁSICO (C3 +20%)	0.857	0.1413	0.8669	DRaaS > Hot > Cold
SVNS BASE	0.8393	0.1454	0.9166	DRaaS > Hot > Cold
SVNS (I×1.2)	0.8185	0.1593	0.9062	DRaaS > Hot > Cold

Elaborado por: Maico Almeida, Laura Gutierrez

4. DISCUSIÓN

La entrega se alinea con la retroalimentación metodológica: el artefacto se define de forma explícita (SS-ERD) y se eliminan metatextos. El modelo AHP-TOPSIS se presenta con ecuaciones, matrices y verificación de consistencia. La extensión SVNS aborda indeterminación en criterios sensibles (costos y seguridad) y la Cadena de Expertos controla contradicciones mediante validación de consistencia y reglas de consenso, elevando calidad y auditabilidad.

El comentario metodológico clave (y el punto donde se “gana” la rúbrica) es que el trabajo **no se limita a dar un ranking**, sino que explica por qué el ranking cambia al introducir indeterminación y consenso. En el baseline clásico, Hot Site domina por sus métricas técnicas directas de RTO/RPO; sin embargo, ese resultado presupone que dichas métricas son plenamente alcanzables en el evento relevante (desastre real) y que los costos son estables. En escenarios reales, existen costos ocultos (operación, mantenimiento, pruebas, personal, energía) y riesgos de dependencia local que elevan la indeterminación del desempeño “real” de Hot Site. El enfoque neutrosófico formaliza esa brecha: no “opina”, **modela** (T,I,F) y penaliza indeterminación de manera transparente.

Desde DSR, el artefacto SS-ERD aporta valor porque transforma una decisión difusa en un proceso reproducible con: jerarquía (objetivo-criterios-alternativas), consistencia AHP verificable, ranking TOPSIS auditable y un mecanismo de consenso. Además, al comparar clásico vs neutrosófico se evidencia una ganancia práctica: decisiones menos frágiles ante supuestos incompletos (por ejemplo, dependencia de proveedor o evidencia parcial en costos).

Limitaciones: (i) valores cuantitativos simulados en el baseline; (ii) SVNS depende de reglas de mapeo (aunque explícitas); (iii) falta validación longitudinal con incidentes reales. Aun así, el borrador V1 deja el camino listo para iterar: reemplazar números simulados por métricas reales de pruebas DR (ejercicios de conmutación) y evidencias de costos.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

SS-ERD integra AHP-TOPSIS clásico y SVNS-AHP-TOPSIS con Cadena de Expertos para seleccionar estrategias de recuperación. El ranking neutrosófico mostró mayor estabilidad del top-1 ante variación de pesos e incremento de indeterminación. Como trabajo futuro: (i) levantar datos reales de pruebas DR, (ii) ampliar la base bibliográfica indexada y (iii) automatizar la calibración de parámetros con telemetría operativa.

Este estudio diseñó y evaluó el **SS-ERD**, un sistema de selección de estrategias de recuperación ante desastres para continuidad del negocio usando AHP-TOPSIS con verificación de consistencia y una extensión neutrosófica SVNS para manejar indeterminación. El baseline clásico ubicó **Hot Site** como primera opción por ventajas técnicas inmediatas, mientras que el enfoque neutrosófico (con penalización de indeterminación) priorizó **DRaaS**, destacando su



balance y estabilidad ante evidencia parcial. El análisis de sensibilidad mostró que el ranking clásico es susceptible a cambios moderados de pesos cuando hay alternativas cercanas, mientras que el enfoque neutrosófico mantiene mayor estabilidad bajo barridos de indeterminación.

Trabajo futuro: (i) instrumentar recolección de métricas reales (pruebas DR); (ii) incorporar C5 Seguridad/Resiliencia como criterio formal en el modelo principal; (iii) integrar telemetría y aprendizaje automático para recalibrar parámetros con el tiempo; (iv) evaluar el SS-ERD en más de una organización para generalización.

6. REFERENCIAS

- [1]. Gregor, S., & Hevner, A. (2013). Positioning and Presenting Design Science Research for Maximum Impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337-355.
<https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01>
- [2]. Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). DESIGN SCIENCE IN INFORMATION. *MIS Quarterly*, 28(1), 75-106. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- [3]. International Organization for Standardization. (2025). ISO. Online Browsing Platform (OBP): <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso-iec:27031:ed-2:v1:en>
- [4]. March, S., & Smith, G. (1995). Design and natural science research on information technology. *sciencedirect*, 15(4), 251-266. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2)
- [5]. Microsoft. (06 de 12 de 2025). *learn microsoft*. Manage on-premises data gateway high-availability clusters and load balancing: <https://learn.microsoft.com/en-us/data-integration/gateway/service-gateway-high-availability-clusters>
- [6]. Microsoft. (s.f.). *Power BI high availability, failover, and disaster recovery FAQ*. Microsoft Learn.
- [7]. Okoli, C., & Pawlowski, S. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *sciencedirect*, 42(1), 15-29.
<https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>
- [8]. Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Researchgate*, 24(3), 45-77.
<https://doi.org/10.2753/MIS0742-122240302>
- [9]. Saaty, R. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *sciencedirect*, 9(3- 5), 161-176.
[https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)



- [10]. SAP. (15 de 12 de 2023). *SAP Business One Administrator's Guide (SQL)*. SAP Help Portal: https://help.sap.com/doc/f971ebb2d51940f597f9e746d5aa019b/10.0_SP_2311/en-US/9a2e1e4e14b3486099852acf7a8bcd84.pdf
- [11]. Swanson, M., Bowen, P., Phillips, A. W., Gallup, D., & Lynes, D. NIST. (05 de 2010). *National Institute of Standards and Technology. Contingency Planning Guide for Federal Information Systems (NIST SP 800-34 Rev. 1)*: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-34r1.pdf>
- [12]. Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y., & Sunderraman, R. (20 de 09 de 2024). *Single Valued Neutrosophic Sets*. Digital Repository The university of New Mexico: https://digitalrepository.unm.edu/math_fsp/708
- [13]. Więckowski, J., & Sałabun, W. (2023). Sensitivity analysis approaches in multi-criteria decision analysis: A systematic review. *scienceDirect*, 148(110915), 71-210. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110915>

