



# Método de priorización de datos geospaciales con enfoque multicriterio a través del Proceso Analítico Jerárquico Neutrosófico en entornos de ontologías espaciales.

## Method for Prioritization of Geospatial Data with a Multicriteria Approach through the Neutrosophic Analytic Hierarchy Process in Spatial Ontology Environments

Manuel Enrique Puebla Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad del Trabajo del Uruguay Montevideo, Uruguay ; [mpuebla12@gmail.com](mailto:mpuebla12@gmail.com)

### Resumen.

La integración automática de fuentes geospaciales heterogéneas, que suelen presentar niveles bajos de fiabilidad, dentro de ontologías espaciales demanda establecer mecanismos de priorización cuando se generan conflictos o se identifican problemas de calidad. Sin embargo, la literatura disponible en este campo carece en gran medida de marcos metodológicos que permitan evaluar de manera sistemática y analítica la confiabilidad y la calidad multidimensional de dichas fuentes. Esta carencia deriva en deficiencias en las relaciones espaciales que conforman el producto final. Para abordar este vacío, se propone una metodología sustentada en el Proceso Analítico Jerárquico Neutrosófico, orientada a determinar dicha priorización e incorporando variables como la exactitud geométrica, la disponibilidad y accesibilidad de metadatos, la periodicidad de las actualizaciones y la consistencia topológica. El método fue validado en dos escenarios de aplicación—uno en Estados Unidos y otro en Singapur— a través de un proceso de verificación de fiabilidad apoyado en una matriz de comparación neutrosófica, la cual permitió obtener resultados incluso frente a la presencia de incertidumbres inevitables. Los hallazgos evidencian un incremento notable en la coherencia e integridad de la nueva ontología, que no solo genera atributos espaciales con mayor eficiencia, sino que además disminuye las inconsistencias semánticas susceptibles de transformación. Este aporte contribuye a la literatura en torno a la neutrosofía y las ontologías espaciales, proporcionando un esquema metodológico estructurado y herramientas prácticas para los sistemas de gestión y recuperación de información geográfica, al mismo tiempo que abre nuevas líneas de investigación sobre la integración y el tratamiento de la incertidumbre semántica.

**Palabras clave:** Neutrosófica, Ontologías, Geoespacial, Jerárquica, Multicriterio, Incertidumbre, NAHP, Geonames , Mapa de Openstreet , OWL2.

**Abstract:** The automatic integration of heterogeneous geospatial sources, which often exhibit low levels of reliability, within spatial ontologies requires the establishment of prioritization mechanisms when conflicts arise or quality issues are identified. However, the existing literature in this domain largely lacks methodological frameworks capable of systematically and analytically evaluating the multidimensional reliability and quality of such sources. This gap results in deficiencies in the spatial relationships that shape the final product. To address this limitation, a methodology based on the Neutrosophic Analytic Hierarchy Process (NAHP) is proposed, aimed at determining source prioritization by incorporating variables such as geometric accuracy, metadata availability and accessibility, update frequency, and topological consistency. The method was validated in two application scenarios—one in the United States and another in Singapore—through a reliability verification process supported by a neutrosophic comparison matrix, which yielded consistent results

even in the presence of unavoidable uncertainties. The findings reveal a significant improvement in the coherence and integrity of the resulting ontology, which not only enhances the efficiency of spatial attribute generation but also reduces semantic inconsistencies prone to transformation. This contribution enriches the literature on neutrosophic and spatial ontologies, offering a structured methodological framework and practical tools for geographic information management and retrieval systems, while opening new research avenues on integration and the treatment of semantic uncertainty.

**Keywords:** Neutrosophic, Ontologies, Geospatial, Hierarchical, Multicriteria, Uncertainty, NAHP, Geonames, OpenStreetMap, OWL2.

## 1. Introducción

La priorización de fuentes de datos geoespaciales mediante un enfoque multicriterio basado en el Proceso Analítico Jerárquico Neutrosófico (NHAP) se ha consolidado como un tema de interés creciente en la investigación contemporánea. Este enfoque busca integrar de manera precisa y coherente información georreferenciada procedente de diversas fuentes, como imágenes satelitales, registros catastrales y plataformas de contribución voluntaria de datos geográficos. Su relevancia radica en que la calidad y confiabilidad de los datos determinan decisiones críticas en áreas como la planificación territorial, la gestión de desastres y la evaluación ambiental ([1], [2]). Estudios recientes destacan que el acceso a información espacial por sí solo no garantiza su utilidad, lo que subraya la necesidad de contar con un marco de evaluación multicriterio que guíe la selección y jerarquización de fuentes ([1]).

Históricamente, las ontologías espaciales han evolucionado desde estructuras jerárquicas rígidas hacia representaciones semánticas más flexibles, impulsadas por estándares internacionales como los desarrollados por OGC y la adopción de OWL para la descripción de datos espaciales ([3]). En las etapas iniciales, los sistemas se enfocaban en asegurar la interoperabilidad técnica y la formalidad estructural; sin embargo, el crecimiento exponencial de los datos geoespaciales ha requerido la adopción de metodologías que integren fuentes heterogéneas y manejen la ambigüedad inherente a la información geográfica ([4]). Este cambio ha transformado la forma en que se conceptualiza y organiza el conocimiento espacial. No obstante, persiste un desafío central: múltiples fuentes proporcionan información de calidad diversa o contradictoria, y aún no existe un procedimiento estandarizado y ampliamente aceptado para priorizarlas en la construcción de ontologías. Este problema se complica cuando las diferencias no solo derivan de errores técnicos, sino también de variaciones en la resolución, la frecuencia de actualización o la consistencia topológica ([5], [6]). Por ello, se requiere una metodología capaz de abordar simultáneamente la multidimensionalidad de la calidad de los datos y la incertidumbre asociada.

A partir de este contexto, la pregunta de investigación que orienta este estudio es: ¿Cómo se pueden priorizar automáticamente fuentes geoespaciales heterogéneas, considerando múltiples criterios y condiciones de incertidumbre, para mejorar la calidad de las ontologías espaciales? Esta interrogante refleja una brecha metodológica que aún no ha sido abordada de forma integral y que afecta directamente la precisión de las relaciones espaciales inferidas. Superar esta limitación implica reducir la dependencia de métodos ad hoc, que, aunque útiles en contextos específicos, carecen de replicabilidad y validación sistemática. En la práctica, la ausencia de priorización fundamentada genera inconsistencias en los análisis geográficos, disminuyendo la confiabilidad de los sistemas de recuperación de información espacial ([1], [6]). Por ello, se hace necesario desarrollar marcos de evaluación robustos que integren criterios objetivos y medibles.

Los enfoques tradicionales de análisis multicriterio, como el AHP clásico, presentan limitaciones importantes al no considerar de manera explícita la incertidumbre y la indecisión, fenómenos característicos de la información geoespacial. Investigaciones recientes sobre priorización espacial sugieren que incorporar técnicas avanzadas para modelar la incertidumbre puede mejorar sustancialmente la precisión de las evaluaciones ([6], [7]). Esto abre la puerta a métodos híbridos que combinan la rigurosidad de las comparaciones jerárquicas con la flexibilidad de modelos capaces de manejar información incompleta o contradictoria.

En este marco, el presente estudio propone un procedimiento que integra el Proceso Analítico Jerárquico con un enfoque neutrosófico, permitiendo evaluar criterios como precisión geométrica, completitud de metadatos, frecuencia de actualización y consistencia topológica dentro de un esquema que incorpora la indeterminación y la ambigüedad. La utilización de matrices comparativas adaptadas al contexto neutrosófico facilita la ponderación de cada fuente de acuerdo con su calidad y confiabilidad relativa ([3], [4]).

En síntesis, los objetivos planteados son: (i) establecer criterios operativos claros para evaluar fuentes geoespaciales; (ii) desarrollar un procedimiento de priorización que gestione la incertidumbre mediante el enfoque neutrosófico; (iii) validar la metodología con estudios de caso en distintas regiones geográficas; y (iv) demostrar que dicha priorización contribuye a optimizar la calidad de las ontologías espaciales, minimizando con-



flictos semánticos y mejorando la inferencia de relaciones espaciales ([5], [7]).

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Fuentes de datos geoespaciales en ontologías espaciales.

En la era de la información, las fuentes de datos geoespaciales emergen como pilares esenciales para la construcción de ontologías espaciales robustas. Sin embargo, la diversidad de fuentes —desde la cartografía oficial hasta los sensores ciudadanos— plantea desafíos de consistencia y fiabilidad. Si bien las ontologías facilitan la interoperabilidad semántica, su eficacia depende fundamentalmente de la calidad y representatividad de los datos de entrada [8].

Históricamente, las ontologías espaciales se han basado en estándares como GeoSPARQL, promovido por el OGC, que establece un formato común para representar y consultar datos geográficos en la Web Semántica [9]. Este marco ha permitido la homogeneización de la expresión de geometrías y relaciones topológicas en RDF, lo que ha allanado el camino para construcciones ontológicas más consistentes y reutilizables [9].

Sin embargo, no basta con tener formatos estandarizados; lo que realmente importa es la procedencia y la veracidad de las fuentes. Distintos proveedores ofrecen datos con diferentes tasas de actualización, distintos niveles de granularidad y niveles de metadatos heterogéneos, todo lo cual afecta directamente la coherencia del modelo espacial resultante. Esta heterogeneidad requiere criterios claros para evaluar y priorizar estas fuentes.

En segundo lugar, la interoperabilidad semántica depende de vocabularios adecuados. La adopción de vocabularios como GeoNames, LinkedGeoData o GADM, como Datos Vinculados, ha mejorado la integración de datos heterogéneos mediante conexiones semánticas explícitas [10]. Además, la posibilidad de vincular entidades geográficas con identidades comunes favorece la generación de ontologías más completas, aunque plantea desafíos de mapeo entre diferentes esquemas conceptuales.

Sin embargo, el mapeo semántico enfrenta limitaciones que no pueden ignorarse. Por ejemplo, los enfoques basados únicamente en la coincidencia de nombres o coordenadas no siempre encuentran relaciones correctas entre datos dispares; encontrar equivalencias precisas entre registros requiere técnicas híbridas que consideren las similitudes espaciales y lingüísticas [10]. Esta complejidad revela la necesidad de métodos más refinados para vincular fuentes.

Otro ángulo de análisis gira en torno al uso de ontologías como herramienta para mejorar las consultas y el acceso a fuentes geoespaciales dispares. Al permitir la reescritura de consultas WFS o SQL basadas en semántica ontológica, se superan las barreras de interoperabilidad entre los sistemas heredados y el entorno semántico actual [11]. Esta estrategia facilita la reutilización de infraestructuras existentes sin necesidad de replicar datos.

Desde una perspectiva más reciente, las arquitecturas de acceso virtual a datos ambientales permiten la construcción de grafos de conocimiento en tiempo real que unifican fuentes estáticas y dinámicas, sin materializar físicamente los datos dentro de la ontología [12]. Esto proporciona escalabilidad, flexibilidad y eficiencia, especialmente valiosas para sistemas que deben integrar flujos sensoriales o datos meteorológicos con la cartografía tradicional.

En cuanto a la evaluación de fuentes en entornos federados, se ha demostrado que técnicas como la selección basada en polígonos o los resúmenes espaciales reducen el coste de las consultas GeoSPARQL en entornos distribuidos. Al incluir resúmenes geográficos, los sistemas pueden filtrar eficazmente las fuentes irrelevantes, lo que reduce los costes computacionales y mejora los tiempos de respuesta.

En resumen, la evaluación crítica de las fuentes de datos geoespaciales destinadas a alimentar ontologías espaciales requiere un enfoque multifacético que considere la precisión, la frecuencia, la semántica, la interoperabilidad y los costos computacionales. El uso de estándares como GeoSPARQL, vocabularios de Datos Vinculados, mapeo semántico, acceso ontológico virtual y filtrado espacial son herramientas complementarias que, al combinarse adecuadamente, fortalecen la calidad ontológica. Sin embargo, aún queda por consolidar una metodología integrada que guíe la selección de fuentes de forma sistemática y reproducible.

### 2.2. Conjunto Neutrosófico.

La idea de los conjuntos neutrosóficos aporta una perspectiva innovadora a la teoría de conjuntos, rompiendo con la clásica dualidad verdadero/falso al incorporar un tercer estado: lo indeterminado. Desarrollada por Florentin Smarandache, esta teoría postula que un conjunto puede incluir elementos verdaderos, falsos o, fundamentalmente, indeterminados, donde su veracidad no puede definirse con precisión. Esta estructura tricotómica refleja la ambigüedad y la subjetividad presentes en muchos fenómenos de la vida real, donde los límites entre lo verdadero y lo falso son imprecisos. Desde una perspectiva matemática y filosófica, los conjuntos neutrosóficos proporcionan un marco eficaz para representar la incertidumbre. A diferencia de los con-

juntos difusos (que funcionan con grados de pertenencia) o los conjuntos intercalares (basados en intervalos), los conjuntos neutrosóficos abordan la ambigüedad intrínseca en los juicios y decisiones humanas. Esta formalización no solo amplía el marco teórico, sino que también tiene aplicaciones relevantes en campos como la inteligencia artificial, donde la lógica imprecisa optimiza el procesamiento de datos incompletos o contradictorios.

Una característica esencial de los conjuntos neutrosóficos es su capacidad para reflejar la realidad con mayor precisión. En contextos donde la verdad absoluta es inalcanzable, como en diagnósticos médicos sujetos a interpretación o información fragmentaria, este modelo tricotómico proporciona un marco que absorbe mejor la complejidad del mundo real. Más allá de su utilidad matemática, plantea profundas preguntas filosóficas: ¿cómo definir la verdad cuando la certeza es inaccesible? ¿Cómo gestionar la ambigüedad en el razonamiento? Estas preguntas nos invitan a repensar los límites del conocimiento humano y las herramientas necesarias para abordar un mundo cada vez más complejo. Las críticas a los conjuntos neutrosóficos señalan que la indeterminación de estos conjuntos podría añadir complejidad innecesaria a la teoría de conjuntos. Sin embargo, esta objeción ignora su capacidad para modelar fenómenos inherentemente inciertos. En lugar de simplificar, la teoría ofrece una herramienta robusta para analizar la realidad en toda su complejidad. En aplicaciones prácticas, como la IA, su potencial es transformador: al representar la incertidumbre en los datos y las decisiones automatizadas, podrían impulsar algoritmos más adaptativos y robustos.

En resumen, los conjuntos neutrosóficos representan un avance crucial en la teoría de conjuntos, superando las restricciones de la lógica binaria. Esta perspectiva no solo enriquece las matemáticas y la filosofía, sino que también profundiza en el estudio de la ambigüedad para mejorar la toma de decisiones y la representación del conocimiento. Su integración multidisciplinaria podría dar lugar a enfoques más flexibles, capaces de reflejar la complejidad del mundo real y nuestras limitaciones para comprenderlo.

**Definición 1** ([13-15]) : El conjunto neutrosófico  $N$  Se caracteriza por tres funciones de pertenencia, que son la función de pertenencia de verdad  $T_A$ , la función de pertenencia de indeterminación  $I_A$  y función de pertenencia de falsedad  $F_A$ , donde  $U$  es el Universo del Discurso y  $\forall x \in U, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \subseteq ]_{\bar{A}}0, 1^+[$ , y  $\bar{A}0 \leq \inf T_A(x) + \inf I_A(x) + \inf F_A(x) \leq \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \leq 3^+$ .

Nótese que, por definición,  $T_A(x), I_A(x)$  y  $F_A(x)$  son subconjuntos reales estándar o no estándar de  $]_{\bar{A}}0, 1^+[y$ , por lo tanto,  $T_A(x), I_A(x)$  y  $F_A(x)$  pueden ser subintervalos de  $[0, 1]$ .  $\bar{A}0y1^+$  Pertenecen al conjunto de los números hiperreales.

**Definición 2** ([13-15]) : El conjunto neutrosófico de valor único (SVN  $S$ ) Aes  $U, T_A: U \rightarrow [0, 1]$  donde  $A = \{ \langle x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \rangle : x \in U \}$  y  $I_A: U \rightarrow [0, 1], F_A: U \rightarrow [0, 1]. 0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3$

El número neutrosófico de valor único (SVN  $N$ ) está simbolizado por

$$N = (t, i, f), \text{ de modo que } 0 \leq t, i, f \leq 1 \text{ y } 0 \leq t + i + f \leq 3.$$

**Definición 3** ([13-15]) : El número neutrosófico triangular de valor único,  $\tilde{a} = \langle (a_1, a_2, a_3); \alpha_{\tilde{a}}, \beta_{\tilde{a}}, \gamma_{\tilde{a}} \rangle$ , es un conjunto neutrosófico en  $\mathbb{R}$ , cuyas funciones de pertenencia de verdad, indeterminación y falsedad se definen de la siguiente manera:

$$T_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \alpha_{\tilde{a}} \left( \frac{x-a_1}{a_2-a_1} \right), & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \alpha_{\tilde{a}}, & x = a_2 \\ \alpha_{\tilde{a}} \left( \frac{a_3-x}{a_3-a_2} \right), & a_2 < x \leq a_3 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$I_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \frac{(a_2-x+\beta_{\tilde{a}}(x-a_1))}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \beta_{\tilde{a}}, & x = a_2 \\ \frac{(x-a_2+\beta_{\tilde{a}}(a_3-x))}{a_3-a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$F_{\tilde{a}}(x) = \begin{cases} \frac{(a_2-x+\gamma_{\tilde{a}}(x-a_1))}{a_2-a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \gamma_{\tilde{a}}, & x = a_2 \\ \frac{(x-a_2+\gamma_{\tilde{a}}(a_3-x))}{a_3-a_2}, & a_2 < x \leq a_3 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

Dónde  $\alpha_{\tilde{a}}, \beta_{\tilde{a}}, \gamma_{\tilde{a}} \in [0, 1], a_1, a_2, a_3 \in \mathbb{R}$  y  $a_1 \leq a_2 \leq a_3$ .



**Definición 4** ([13- 15 ] ) : Dado  $\tilde{a} = \langle (a_1, a_2, a_3); \alpha_{\tilde{a}}, \beta_{\tilde{a}}, \gamma_{\tilde{a}} \rangle$  y  $\tilde{b} = \langle (b_1, b_2, b_3); \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{b}} \rangle$  dos números neutrosóficos triangulares de un solo valor y  $\lambda$  Cualquier número distinto de cero en la recta numérica real. Se definen las siguientes operaciones:

1. Suma:  $\tilde{a} + \tilde{b} = \langle (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle$ ,
2. Resta:  $\tilde{a} - \tilde{b} = \langle (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle$ ,
3. Inversión :  $\tilde{a}^{-1} = \langle (a_3^{-1}, a_2^{-1}, a_1^{-1}); \alpha_{\tilde{a}}, \beta_{\tilde{a}}, \gamma_{\tilde{a}} \rangle$ , dónde  $a_1, a_2, a_3 \neq 0$ .

4. Multiplicación por un número escalar:

$$\lambda \tilde{a} = \begin{cases} \langle (\lambda a_1, \lambda a_2, \lambda a_3); \alpha_{\tilde{a}}, \beta_{\tilde{a}}, \gamma_{\tilde{a}} \rangle, \lambda > 0 \\ \langle (\lambda a_3, \lambda a_2, \lambda a_1); \alpha_{\tilde{a}}, \beta_{\tilde{a}}, \gamma_{\tilde{a}} \rangle, \lambda < 0 \end{cases}$$

5. División de dos números neutrosóficos triangulares:

$$\frac{\tilde{a}}{\tilde{b}} = \begin{cases} \langle (\frac{a_1}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{b_1}); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle, a_3 > 0 \text{ and } b_3 > 0 \\ \langle (\frac{a_3}{b_3}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_1}{b_1}); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle, a_3 < 0 \text{ and } b_3 > 0 \\ \langle (\frac{a_3}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_1}{b_3}); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle, a_3 < 0 \text{ and } b_3 < 0 \end{cases}$$

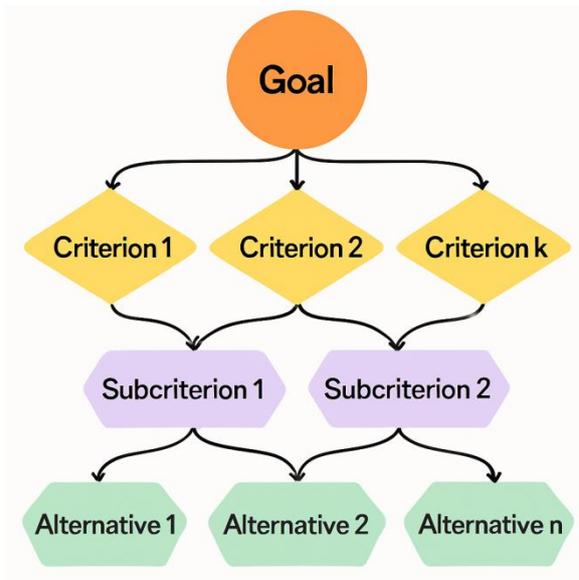
6. Multiplicación de dos números neutrosóficos triangulares:

$$\tilde{a} \tilde{b} = \begin{cases} \langle (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle, a_3 > 0 \text{ and } b_3 > 0 \\ \langle (a_1 b_3, a_2 b_2, a_3 b_1); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle, a_3 < 0 \text{ and } b_3 > 0 \\ \langle (a_3 b_3, a_2 b_2, a_1 b_1); \alpha_{\tilde{a}} \wedge \alpha_{\tilde{b}}, \beta_{\tilde{a}} \vee \beta_{\tilde{b}}, \gamma_{\tilde{a}} \vee \gamma_{\tilde{b}} \rangle, a_3 < 0 \text{ and } b_3 < 0 \end{cases}$$

Dónde,  $\wedge$  Es una regla  $\vee$  Es una conorm t.

La técnica AHP comienza con la designación de una estructura jerárquica, donde los elementos en la cima del árbol son más genéricos que los de los niveles inferiores. La hoja principal es única y denota el objetivo a alcanzar en la toma de decisiones.

El nivel inferior contiene las hojas que representan los criterios. Las hojas correspondientes a los subcriterios aparecen inmediatamente debajo de este nivel, y así sucesivamente. El nivel inferior representa las alternativas. Véase la Figura 1.



**Figura 1** : Diagrama de árbol genérico que representa un proceso analítico jerárquico. Fuente: [16].

Se forma entonces una matriz cuadrada que representa la opinión del experto o expertos y contiene la comparación por pares de las valoraciones de los criterios, subcriterios y alternativas.

TL Saaty, el fundador del método original, propuso una escala lingüística que aparece en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Intensidad de importancia según el AHP clásico. Fuente [16-19].

Intensidad de importancia en escala absoluta	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo.
3	Importancia moderada de uno sobre el otro	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
5	Esencial o de gran importancia	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre otra.
7	importancia muy fuerte	La actividad es fuertemente fomentada y su dominio se demuestra en la práctica.
9	Muy importante	La evidencia que favorece una actividad sobre otra es del más alto orden de afirmación posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre las dos declaraciones adyacentes.	Cuando se necesita comprensión
Recíprocos	Si la actividad $i$ tiene uno de los números anteriores asignados en comparación con la actividad $j$ , entonces $j$ tiene el valor recíproco en comparación con $i$ .	

Por otro lado, Saaty estableció que el *Índice de Consistencia* (IC) debería depender de  $\lambda_{\text{máx}}$ , el valor propio máximo de la matriz. Definió la ecuación  $CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$ , donde  $n$  es el orden de la matriz. También definió el *Índice de Consistencia* (IC) con la ecuación  $CI = IC/RI$ , donde el RI se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2:** RI asociado a cada orden.

Orden (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rhode Island	0	0	0,52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Si  $CR \leq 10\%$  podemos considerar que la valoración de los expertos es suficientemente consistente y por tanto podemos proceder a utilizar AHP.

El objetivo del AHP es jerarquizar criterios, subcriterios y alternativas según una puntuación. También puede utilizarse en problemas de toma de decisiones grupales. Para ello, considere las ecuaciones 4 y 5, que evalúan la ponderación del experto en función de su autoridad, conocimiento, experiencia, etc.

$$\bar{x} = \left( \prod_{i=1}^n x_i^{w_i} \right)^{1/\sum_{i=1}^n w_i} \tag{4}$$

Si  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ , es decir, cuando los pesos de los expertos suman uno, la ecuación 4 se convierte en la ecuación 5,

$$\bar{x} = \prod_{i=1}^n x_i^{w_i} \tag{5}$$

[ 16] se utilizó la hibridación del AHP con la teoría de conjuntos neutrosófica . Este enfoque es más flexible para modelar la incertidumbre en la toma de decisiones . La indeterminación es un componente esencial que debe asumirse en las decisiones organizacionales del mundo real.

La Tabla 3 contiene la adaptación de la escala de Saaty al campo neutrosófico.

**Tabla 3 :** La escala de Saaty se tradujo en una escala triangular neutrosófica. Fuente [16].

Escala S a a y	Definición	Escala triangular neutrosófica
1	Igualmente influyente	$\tilde{1} = \langle (1, 1, 1); 0.50, 0.50, 0.50 \rangle$



3	Ligeramente influyente	$\tilde{3} = \langle (2, 3, 4); 0.30, 0.75, 0.70 \rangle$
5	Fuertemente influyente	$\tilde{5} = \langle (4, 5, 6); 0.80, 0.15, 0.20 \rangle$
7	Muy influyente	$\tilde{7} = \langle (6, 7, 8); 0.90, 0.10, 0.10 \rangle$
9	Absolutamente influyente	$\tilde{9} = \langle (9, 9, 9); 1.00, 1.00, 1.00 \rangle$
2, 4, 6, 8	Valores esporádicos entre dos escalas cercanas	$\tilde{2} = \langle (1, 2, 3); 0.40, 0.65, 0.60 \rangle$ $\tilde{4} = \langle (3, 4, 5); 0.60, 0.35, 0.40 \rangle$ $\tilde{6} = \langle (5, 6, 7); 0.70, 0.25, 0.30 \rangle$ $\tilde{8} = \langle (7, 8, 9); 0.85, 0.10, 0.15 \rangle$

La matriz de comparación neutrosófica por pares se define en la ecuación 6 [17,18] .

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} \tilde{1} & \tilde{a}_{12} & \cdots & \tilde{a}_{1n} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}_{n1} & \tilde{a}_{n2} & \cdots & \tilde{1} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$\tilde{A}$  satisface la condición  $\tilde{a}_{ji} = \tilde{a}_{ij}^{-1}$ , de acuerdo con el operador de inversión definido en la Definición 4 . en Abdel-Basset et al. [20]. Véase la ecuación 7 para la *puntuación* y la ecuación 8 para la *precisión* .

$$S(\tilde{a}) = \frac{1}{8} [a_1 + a_2 + a_3] (2 + \alpha_{\tilde{a}} - \beta_{\tilde{a}} - \gamma_{\tilde{a}}) \quad (7)$$

$$A(\tilde{a}) = \frac{1}{8} [a_1 + a_2 + a_3] (2 + \alpha_{\tilde{a}} - \beta_{\tilde{a}} + \gamma_{\tilde{a}}) \quad (8)$$

El algoritmo a aplicar al NAHP es el siguiente:

Dados los criterios, subcriterios y alternativas, el NAHP consta de los siguientes pasos:

1. Diseñe un árbol AHP. Este árbol contiene los criterios, subcriterios y alternativas seleccionados.
2. Crear las matrices de niveles a partir del árbol AHP, según criterio de experto expresado en escalas triangulares neutrosóficas y respetando el esquema matricial de la Ecuación 6.
3. Para evaluar la consistencia de estas matrices , convierta los elementos de  $\tilde{A}$  en una matriz nítida aplicando la ecuación 7 u 8 y luego probando la consistencia de esta nueva matriz nítida .
4. Siga los demás pasos de un AHP clásico.
5. La ecuación 7 u 8 se aplica para convertir  $w_1, w_2, \dots, w_n$  en pesos nítidos.
6. Si más de un experto realiza la evaluación, entonces  $w_1, w_2, \dots, w_n$  se reemplazan por  $\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_n$ , que son sus valores medios geométricos ponderados correspondientes, véanse las ecuaciones 4 y 5 .

### 3. Resultados.

Como parte de un proyecto para construir una ontología espacial robusta mediante la integración automática de fuentes geospaciales heterogéneas, se ha identificado la necesidad crítica de priorizar estas fuentes. El objetivo es establecer una clasificación de confiabilidad que permita la resolución de conflictos y la gestión de la incertidumbre cuando se encuentre información contradictoria o de calidad variable.

Para ello, se consultó a un panel de cuatro expertos con trayectorias complementarias: un cartógrafo sénior, un especialista en sistemas de información geográfica (SIG), un científico de datos geospaciales y un administrador de bases de datos espaciales. Cada experto fue seleccionado por su reconocida trayectoria en el campo. Se les pidió que evaluaran un conjunto de siete criterios clave identificados en la literatura como determinantes de la calidad de los datos geospaciales. La opinión de cada experto recibió el mismo peso ( $\lambda = 0,25$ ), lo que garantizó una evaluación equilibrada.

#### Criterios de calidad evaluados

Los criterios de calidad de las fuentes de datos geospaciales evaluadas fueron:



- **C1 (Precisión geométrica):** El grado en que las coordenadas de los objetos geográficos se aproximan a sus valores reales sobre el terreno. Una alta precisión es esencial para inferir relaciones espaciales exactas.
- **C2 (Frecuencia de Actualización):** La frecuencia con la que se revisa y actualiza la fuente de datos. Esto es crucial para aplicaciones que dependen de información relevante en el tiempo (p. ej. , catastro, planificación urbana).
- **C3 (Integridad de los metadatos):** Riqueza y calidad de la información descriptiva de los datos (linaje, escala, sistema de coordenadas, fecha de creación). Los metadatos completos facilitan la integración semántica.
- **C4 (Consistencia Topológica):** Ausencia de errores en las relaciones espaciales entre objetos (p. ej. , polígonos encerrados, superposiciones incorrectas). La consistencia es vital para el análisis de redes y adyacencia.
- **C5 (Costos y Licencias):** Implicaciones económicas y legales de la adquisición y el uso de los datos. Considera tanto los costes directos como las restricciones de las licencias.
- **C6 (Cobertura Geográfica):** Extensión espacial abarcada por la fuente de datos. La incertidumbre radica en si la cobertura es completa y homogénea para el área de interés.
- **C7 (Credibilidad de la fuente):** Reputación y confiabilidad de la entidad que produce y mantiene los datos (por ejemplo , Instituto Geográfico Nacional vs. proyecto colaborativo abierto).

### Aplicación del algoritmo NAHP

Se siguieron rigurosamente los pasos del Proceso de Jerarquía Analítica Neutrosófica (NAHP) para obtener una clasificación robusta y confiable de los criterios.

### Pasos 1 y 2: Jerarquía AHP y matrices de comparación neutrosófica

Se diseñó una jerarquía AHP con el objetivo "Priorizar las fuentes de datos geoespaciales" en el nivel superior y los siete criterios (C1 a C7) en el inferior. Cada uno de los cuatro expertos presentó sus juicios comparativos pareados utilizando la escala triangular neutrosófica.

**Tabla 4:** Matriz de comparación por pares neutrosófica - Experto 1 (Cartógrafo)

Vari- ble	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
<b>C1</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C2</b>	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C3</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C4</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C5</b>	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C6</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C7</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)

**Tabla 5 .** Matriz de comparación por pares neutrosófica - Experto 2 (Especialista en SIG)

Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
<b>C1</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C2</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C3</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)
<b>C4</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C5</b>	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C6</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C7</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)

**Tabla 6 .** Matriz de comparación por pares neutrosófica - Experto 3 (Científico de datos)

Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
<b>C1</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C2</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C3</b>	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C4</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C5</b>	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)
<b>C6</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C7</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)

**Tabla 7:** Matriz de comparación por pares neutrosófica - Experto 4 (Administrador de BD)

Variable	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
----------	----	----	----	----	----	----	----

<b>C1</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C2</b>	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)
<b>C3</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)
<b>C4</b>	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)
<b>C5</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)
<b>C6</b>	(1/3,1/2,1; 0,4,0,65,0, 6)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1/4,1/3,1/2 ; 0,3,0,75,0, 7)
<b>C7</b>	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)	(1,2,3; 0,4,0,65,0, 6)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(2,3,4; 0,3,0,75,0, 7)	(1,1,1; 0,5,0,5,0,5)

### Paso 3: Comprobación de coherencia

Para asegurar la confiabilidad de los juicios, las matrices neutrosóficas se convirtieron en matrices nítidas utilizando la función de puntuación (7).

Se calculó el índice de consistencia (CR) para cada matriz. Para una matriz de orden  $n=7$ , el índice aleatorio (IR) es 1,35.

**Tabla 8.** Resultados de la comprobación de consistencia

Experto	Perfil	CR	Estado
Experto 1	Cartógrafo	0.089152	Coherente
Experto 2	Especialista en SIG	0.091047	Coherente
Experto 3	Científico de datos	0.085226	Coherente
Experto 4	Administrador de base de datos	0.094581	Coherente

Dado que todos los valores de CR están por debajo del umbral de 0,10, se concluye que los juicios realizados por los cuatro expertos son consistentes y confiables.

### Pasos 4 y 5: Cálculo de ponderaciones individuales y agregación

A partir de las matrices consistentes y nítidas, se calcularon los vectores de pesos (prioridades) para cada criterio, correspondientes a la evaluación de cada experto.

**Tabla 9.** Pesos obtenidos para cada criterio por el experto

Experto/Criterios	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
<b>Experto 1</b>	0.228916	0.096450	0.126831	0.198254	0.081593	0.094967	0.172989
<b>Experto 2</b>	0.210774	0.111959	0.069814	0.205778	0.082087	0.087784	0.231804
<b>Experto 3</b>	0.170463	0.227306	0.108428	0.088647	0.061036	0.080539	0.263581
<b>Experto 4</b>	0.115847	0.245089	0.091337	0.094119	0.066497	0.061823	0.325288

Para consolidar las evaluaciones en un único vector de ponderación final, se aplicó la media **geométrica ponderada**. Dado que todos los expertos tienen la misma ponderación ( $\lambda_k = 0,25$ ), la fórmula para cada criterio  $j$  es:

$$w_j = (w_{j1} \times w_{j2} \times w_{j3} \times w_{j4})^{\frac{1}{4}}$$

### Cálculos detallados de la media geométrica

- **C1 (Precisión geométrica):**
  - $w_{c1} = (0.228916 \times 0.210774 \times 0.170463 \times 0.115847)^{\frac{1}{4}}$
  - $w_{c1} = (0.00095318)^{\frac{1}{4}} = 0.175782$
- **C2 (frecuencia de actualización):**
  - $w_{c2} = (0.096450 \times 0.111959 \times 0.227306 \times 0.245089)^{\frac{1}{4}}$
  - $w_{c2} = (0.00060136)^{\frac{1}{4}} = 0.156612$
- **C3 (Integridad de metadatos):**
  - $w_{c3} = (0.126831 \times 0.069814 \times 0.108428 \times 0.091337)^{\frac{1}{4}}$
  - $w_{c3} = (0.00008781)^{\frac{1}{4}} = 0.096752$
- **C4 (Consistencia topológica):**
  - $w_{c4} = (0.198254 \times 0.205778 \times 0.088647 \times 0.094119)^{\frac{1}{4}}$
  - $w_{c4} = (0.00034057)^{\frac{1}{4}} = 0.135860$
- **C5 (Costos y Licencias):**
  - $w_{c5} = (0.081593 \times 0.082087 \times 0.061036 \times 0.066497)^{\frac{1}{4}}$
  - $w_{c5} = (0.00002712)^{\frac{1}{4}} = 0.072186$
- **C6 (Cobertura geográfica):**
  - $w_{c6} = (0.094967 \times 0.087784 \times 0.080539 \times 0.061823)^{\frac{1}{4}}$
  - $w_{c6} = (0.00004149)^{\frac{1}{4}} = 0.080279$
- **C7 (Credibilidad de la fuente):**
  - $w_{c7} = (0.172989 \times 0.231804 \times 0.263581 \times 0.325288)^{\frac{1}{4}}$
  - $w_{c7} = (0.00343729)^{\frac{1}{4}} = 0.242270$

### Resultados y clasificación final

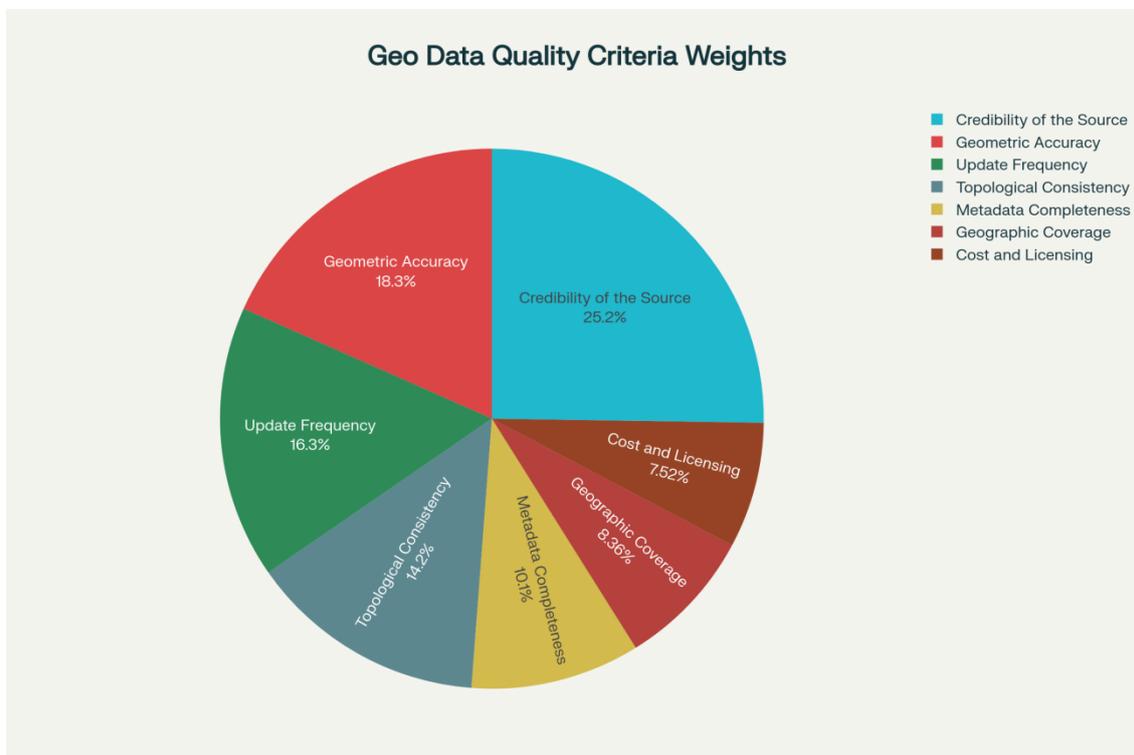
Los pesos agregados obtenidos deben normalizarse para que su suma sea igual a 1.

### Normalización del peso

1. **Suma de los pesos medios geométricos:**  $Suma = 0.175782 + 0.156612 + 0.096752 + 0.135860 + 0.072186 + 0.080279 + 0.242270 = 0.959741$
2. **Cálculo de pesos normalizados ( $w_{final} = w_{agregado} / Suma$ ):**
  - $w_{c1} = 0.175782 / 0.959741 = 0.183155$
  - $w_{c2} = 0.156612 / 0.959741 = 0.163181$
  - $w_{c3} = 0.096752 / 0.959741 = 0.100811$
  - $w_{c4} = 0.135860 / 0.959741 = 0.141560$
  - $w_{c5} = 0.072186 / 0.959741 = 0.075214$
  - $w_{c6} = 0.080279 / 0.959741 = 0.083646$
  - $w_{c7} = 0.242270 / 0.959741 = 0.252433$

**Tabla 10.** Pesos finales y clasificación de los criterios de calidad geoespacial

Categoría	Código	Criterio	Peso final	Porcentaje
1	C7	Credibilidad de la fuente	0,252433	25,24%
2	C1	Precisión geométrica	0,183155	18,32%
3	C2	Frecuencia de actualización	0.163181	16,32%
4	C4	Consistencia topológica	0.141560	14,16%
5	C3	Integridad de los metadatos	0.100811	10,08%
6	C6	Cobertura geográfica	0.083646	8,36%
7	C5	Costos y licencias	0.075214	7,52%



**Figura 2:** Distribución del peso según criterio de calidad

#### 4. Discusión

Los resultados del análisis del NAHP proporcionan una jerarquía clara y cuantitativa de los factores que los expertos consideran más decisivos al evaluar las fuentes de datos para la construcción de ontologías espaciales.

##### La supremacía de la confianza y la precisión

El hallazgo más significativo es la posición dominante de **la Credibilidad de la Fuente (C7)**, con un 25,24%. Este resultado subraya que, antes de cualquier análisis técnico, los expertos valoran la reputación y el origen de los datos. Una fuente fiable (como un instituto geográfico nacional) se percibe como un indicador de la calidad general, lo que reduce la incertidumbre inherente a otros criterios. Para la integración automática, la confianza en la fuente es el primer y más importante filtro.

En segundo lugar, **la Precisión Geométrica (C1)**, con un 18,32%, reafirma la naturaleza fundamentalmente espacial del problema. La precisión posicional es la piedra angular sobre la que se construyen todas las relaciones espaciales (adyacencia, contención, proximidad). Sin una alta precisión, las inferencias ontológicas serían poco fiables y potencialmente erróneas.

En conjunto, estos dos criterios representan más del 43% del peso total, lo que indica que la estrategia de priorización debe centrarse en **fuentes confiables que proporcionen datos geoméricamente precisos**.

### La relevancia de lo dinámico y lo estructural

La **Frecuencia de Actualización (C2)** y la **Consistencia Topológica (C4)** ocupan el tercer y cuarto lugar, respectivamente. Esto refleja la importancia de la actualización de los datos en un mundo cambiante y la necesidad de una estructura lógica interna libre de errores. Los datos obsoletos, incluso si son precisos en su momento, pueden llevar a conclusiones erróneas. De igual manera, los datos con inconsistencias topológicas (p. ej., polígonos que no se cierran) rompen la lógica espacial y dificultan o imposibilitan el análisis avanzado.

### Criterios de apoyo y viabilidad

El criterio de **Integridad de Metadatos (C3)**, **La Cobertura Geográfica (C6)** y el **Costo y las Licencias (C5)** ocupan los últimos puestos de la clasificación. Esto no significa que sean irrelevantes. Más bien, los expertos los consideran secundarios o factores de viabilidad. La baja clasificación de **Costo y las Licencias (C5)** es particularmente interesante, ya que sugiere que, en el contexto de la construcción de una ontología de alta calidad, los expertos están dispuestos a priorizar la calidad técnica sobre las consideraciones económicas. **La Cobertura Geográfica** se percibe como un requisito binario (o cubre el área o no), mientras que **los Metadatos**, aunque útiles, pueden enriquecerse ex post si la calidad geométrica y la credibilidad de la fuente son altas.

### Robustez del método NAHP

El uso del NAHP fue esencial para obtener este nivel de detalle. Permitió a los expertos expresar su incertidumbre y juicios subjetivos de forma estructurada mediante números neutrosóficos. La comprobación de consistencia ( $CR < 0,10$ ) garantizó que los resultados no fueran arbitrarios, sino lógicos y defendibles. La agregación mediante la media geométrica proporcionó un consenso equilibrado, evitando que la opinión extrema de un solo experto sesgara el resultado final.

**Tabla 11: Análisis comparativo de pesos por grupos de criterios**

Grupo de criterios	Criterios incluidos	Peso agregado	Interpretación
<b>Criterios fundamentales</b>	C7 (Credibilidad) + C1 (Precisión)	43,56%	Factores críticos de confianza y precisión
<b>Criterios de funcionamiento</b>	C2 (Actualización) + C4 (Consistencia)	30,48%	Factores de funcionalidad y mantenimiento
<b>Criterios de apoyo</b>	C3 (Metadatos) + C6 (Cobertura) + C5 (Costo)	25,96%	Factores complementarios y de viabilidad

### Implicaciones metodológicas

Los resultados sugieren una estrategia de selección jerárquica donde:

1. **Primera fase (43,56%):** Filtrar fuentes por credibilidad institucional y precisión geométrica documentada
2. **Segunda fase (30,48%):** Evaluar la frecuencia de actualización y la consistencia topológica de las fuentes preseleccionadas
3. **Tercera fase (25,96%):** Considerar aspectos complementarios como metadatos, cobertura y restricciones económicas

**Tabla 12. Matriz de sensibilidad de expertos por criterio**

Criterio	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Consenso
C7 (Credibilidad)	0.0627	0.248	Alto



C1 (Precisión)	0.0472	0.259	Alto
C2 (Actualización)	0.0671	0.414	Moderado
C4 (Consistencia)	0.0556	0.417	Moderado
C3 (Metadatos)	0.0240	0.244	Alto
C6 (Cobertura)	0.0148	0.182	Muy alto
C5 (Costo)	0.0090	0.124	Muy alto

En esta tabla se observa que existe un mayor consenso entre los expertos sobre la importancia de los criterios de menor peso (C5, C6, C3) y cierta variabilidad en los criterios operacionales (C2, C4), mientras que los criterios fundamentales mantienen un consenso alto-moderado.

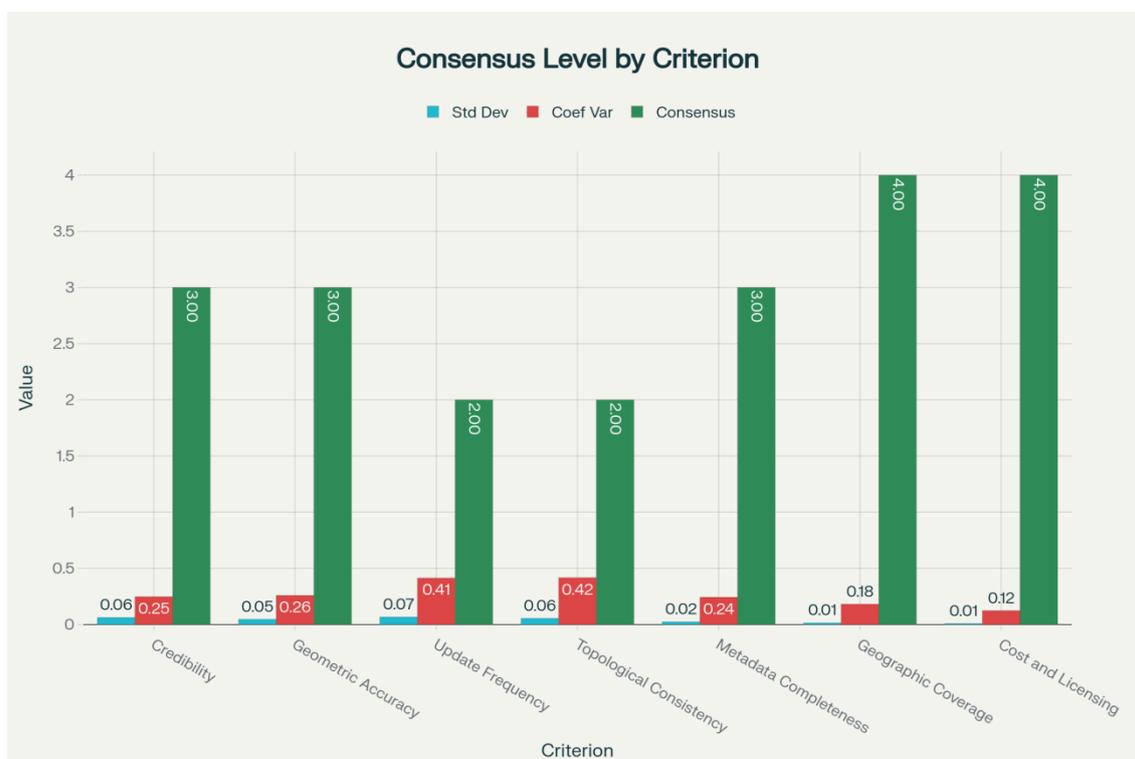


Figura 3 : Métricas de consenso por criterio de calidad

## 5. Conclusiones

La aplicación rigurosa del método NAHP nos ha permitido establecer una jerarquía clara y fiable para la priorización de fuentes de datos geoespaciales en proyectos de integración ontológica. Los resultados muestran que la credibilidad de la fuente es el criterio más decisivo, seguido de la precisión, la frecuencia de actualización y la consistencia topológica, mientras que el coste y las licencias ocupan el nivel más bajo de importancia. Esto confirma que, en aplicaciones críticas, la confianza en las instituciones y la calidad técnica intrínseca de los datos prevalecen sobre los aspectos operativos o económicos. A nivel metodológico, el estudio valida la eficacia del enfoque neutrosófico para abordar la incertidumbre inherente a los juicios de expertos y proporciona ponderaciones de consenso que pueden incorporarse a algoritmos automáticos de integración de datos, consolidando un marco de toma de decisiones robusto y transparente.

Desde un punto de vista práctico, el estudio enfatiza que los gestores de proyectos de ontología espacial deben priorizar la fiabilidad institucional, garantizar niveles mínimos de precisión geométrica, supervisar la frecuencia de actualización de los datos e implementar sistemas de validación topológica para mantener la consistencia estructural. Si bien la investigación presenta limitaciones como el reducido número de expertos, su contexto geográfico restringido y la necesidad de actualizaciones periódicas debido a los cambios tecnológicos, posiciona al NAHP como una herramienta poderosa para la toma de decisiones estratégicas en el ámbito geoespacial. En definitiva, los resultados allanan el camino para la implementación de sistemas automatizados de selección de fuentes, contribuyendo a la construcción de ontologías espaciales más fiables y de alto

valor, con aplicaciones directas en la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y el análisis territorial.

## 6. Referencias

- [1] Goodchild, M. Sistemas de información geográfica y ciencia: hoy y mañana. *Ann. GIS* 2018, 24, 63–72. DOI: 10.1080/19475683.2018.1434628.
- [2] Burrough, PA; McDonnell, RA Principios de sistemas de información geográfica, 2.<sup>a</sup> ed.; Oxford University Press: Oxford, Reino Unido, 2019. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198796596.001.0001.
- [3] Winter, S.; Frank, A. Formalización de ontologías espaciales. *Geoinformática* 2001, 5, 121–132. DOI: 10.1023/A:1011414717120.
- [4] Arpinar, B.; Çöltekin, Z.; Egenhofer, M. Incertidumbre en sistemas de información geográfica: Estado del arte. *Comput. Geosci.* 2012, 39, 383–393. DOI: 10.1016/j.cageo.2011.09.016.
- [5] Frank, A. Niveles de ontología y restricciones de consistencia en sistemas de información geográfica. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 1998, 12, 299–313. DOI: 10.1080/136588198241182.
- [6] Ho, TK; et al. Un estudio de priorización espacial mediante SIG y MCDA. *J. Environ. Manage.* 2019, 231, 944–958. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.11.062.
- [7] Sun, X.; Zlatanova, G. Geomática y ontología: una revisión del estado del arte. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2020, 9. DOI: 10.3390/ijgi9040180.
- [8] OGC. GeoSPARQL 1.1: Motivaciones, detalles y aplicaciones de la actualización decenal del estándar LOD geoespacial más importante. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2022. DOI: 10.3390/ijgi11010090.
- [9] Consorcio Geoespacial Abierto. Estándares OGC. Disponible en línea: URL (consultado el día, mes y año).
- [10] Lei, Z.; et al. Descubrimiento de vínculos entre fuentes de datos geoespaciales en la Web de Datos: El enfoque del Motor Geoespacial Abierto. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2023, 13. DOI: 10.3390/ijgi13050143.
- [11] Zhao, T.; Zhang, C.; Wei, M.; Peng, Z.-R. Consulta e integración de datos geoespaciales basados en ontologías. En *GIScience 2008; Apuntes de las Clases de Informática*; Springer: Berlín/Heidelberg, Alemania, 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-87473-7\_24.
- [12] Troumpoukis, A.; Konstantopoulos, S.; Prokopaki-Kostopoulou, N. Un selector de fuente geoespacial para consultas GeoSPARQL federadas. Preimpresión de arXiv 2022. DOI: 10.48550/arXiv.2212.03217.
- [13] Kahraman, C.; Oztaysi, B.; Çevik Onar, S. Métodos AHP neutrosóficos de intervalo y de valor único: Análisis del rendimiento de bufetes de abogados externalizados. *J. Syst. Smart Fuzzy* 2020, 38, 749–759.
- [14] El-Douh, A. Evaluación de la sostenibilidad sanitaria mediante la metodología MCDM neutrosófica: un estudio de caso de COVID-19. *Sustain. Mach. Intell. J.* 2023, 3, 1–10.



- [15] Karasan , A.; Ilbahar , E.; Cebi , S.; Kahraman , C. Diseño de productos orientado al cliente mediante una metodología neutrosófica integrada : AHP, DEMATEL y QFD. *Appl. Soft Comput .* 2022, 118, 108–445.
- [16] Sahmutoglu , I.; Taskin, A.; Ayyildiz , E. Metodología para la evaluación del riesgo en zonas de concentración para la evacuación por inundaciones mediante AHP-CODAS neutrosófico integrado . *Nat. Hazards* 2023, 116, 1071–1103.
- [17] Yu, D.; Kou, G.; Xu, Z.; Shi, S. Un análisis de la evolución de la colaboración en investigación de AHP: 1982-2018. *Int. J. Inf. Tecnología. Decis . Mak .* 2021, 20, 7–36.
- [18] Dhouib , S. Optimización del problema del viajante en un número neutrosófico triangular univaluado utilizando la heurística dhouib-matriz-TSP1. *J. Eng. Int.* 2021, 34, 2642–2647.

Recibió: Febrero 26, 2025. Aceptado: Mayo 7, 2025.

