Neutrosophic Computing and Machine Learning, Vol. 37, 2025
University of New Mexico

Evaluación de estrategias clínicas para el hipotiroidismo subclínico en gestantes

Evaluation of clinical strategies for subclinical hypothyroidism in pregnant women

Santiago Xavier Peñarreta Quezada[1], Gilary Mayumi Imbacuan Ayala [2], and Marcela Estefanía Chalacan Castro [3]

[1] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ibarra. Ecuador. ui.santiagopq91@uniandes.edu.ec
[2] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ibarra. Ecuador. gilaryia83@uniandes.edu.ec
[3] Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ibarra. Ecuador. marcelacc01@uniandes.edu.ec

Resumen. Este estudio tuvo como objetivo demostrar la aplicabilidad de la lógica neutrosófica en la priorización de intervenciones clínicas y preventivas para el manejo del hipotiroidismo subclínico en mujeres embarazadas. Se realizó una revisión bibliográfica sistemática en bases de datos científicas, utilizando términos clave relacionados con riesgos gestacionales y consecuencias clínicas. Se seleccionaron y analizaron varios artículos publicados entre 2019 y 2023, priorizando guías clínicas y revisiones sistemáticas. Los resultados mostraron que el hipotiroidismo subclínico incrementa significativamente los trastornos hipertensivos en el embarazo y el riesgo de infertilidad femenina. Asimismo, se identificaron estrategias clave, para el manejo de esta enfermedad en gestantes. Las alternativas fueron evaluadas mediante el método ELECTRE I, integrando lógica neutrosófica para manejar la incertidumbre y la complejidad de los datos. La derivación a especialistas emergió como la estrategia más dominante, seguida de la suplementación con levotiroxina y la educación nutricional. La aplicación de este método permitió priorizar las intervenciones mejorando la toma de decisiones en el ámbito de las ciencias de la salud. El estudio demostró que la combinación de métodos multicriterio y lógica neutrosófica resultó efectiva para abordar problemas complejos para la implementación de políticas sanitarias y futuras investigaciones en el campo..

Palabras Claves: lógica neutrosófica, hipotiroidismo subclínico, embarazo, métodos multicriterio, priorización de intervenciones, ELECTRE I

Abstract. This study aimed to demonstrate the applicability of neutrosophic logic in prioritizing clinical and preventive interventions for the management of subclinical hypothyroidism in pregnant women. A systematic literature review was conducted in scientific databases using key terms related to gestational risks and clinical outcomes. Several articles published between 2019 and 2023 were selected and analyzed, prioritizing clinical guidelines and systematic reviews. The results showed that subclinical hypothyroidism significantly increases the risk of hypertensive disorders during pregnancy and female infertility. Key strategies for managing this condition in pregnant women were also identified. The alternatives were evaluated using the ELECTRE I method, integrating neutrosophic logic to handle uncertainty and data complexity. Referral to specialists emerged as the most dominant strategy, followed by levothyroxine supplementation and nutritional education. The application of this method allowed for the prioritization of interventions, improving decision-making in the field of health sciences. The study demonstrated that the combination of multicriteria methods and neutrosophic logic was effective in addressing complex problems, supporting the implementation of health policies and future research in the field.

Keywords: neutrosophic logic, subclinical hypothyroidism, pregnancy, multicriteria methods, intervention prioritization, ELECTRE I

1 Introducción

El hipotiroidismo subclínico (HSC) se define como una condición caracterizada por niveles elevados de la Hormona Estimulante de Tiroides (TSH) en suero, mientras que los niveles de tiroxina libre (T4L) permanecen dentro del rango normal [1]. Aunque generalmente asintomático, este trastorno representa un desafío diagnóstico y terapéutico, especialmente en mujeres embarazadas, debido a los cambios fisiológicos que ocurren durante la gestación [2], [3]. Durante el embarazo, la glándula tiroidea experimenta un aumento de tamaño y se eleva la

producción de globulina transportadora de hormonas (TBG), lo que altera los rangos normales de T4 y T3 [4]. Estos cambios dificultan la interpretación de los valores de TSH, particularmente en el segundo y tercer trimestres, donde los límites superiores de referencia deben ajustarse. [5]

El HSC no solo afecta la salud materna, sino que también tiene implicaciones significativas en los resultados reproductivos. Estudios han demostrado que esta condición está asociada con un mayor riesgo de infertilidad, aborto espontáneo, trastornos hipertensivos del embarazo y complicaciones fetales, como bajo peso al nacer y restricción del crecimiento intrauterino [6], [7]. La Asociación Americana de Endocrinología Clínica (AACE) y la Asociación Americana de Tiroides (ATA) recomiendan la medición de TSH en mujeres en edad reproductiva, tanto antes como durante el primer trimestre del embarazo, para identificar y manejar oportunamente esta condición.[8]

A nivel global, las mujeres son entre 5 y 8 veces más propensas a desarrollar esta condición que los hombres, y en el contexto del embarazo, la prevalencia alcanza del 2% al 5%. En Ecuador, por ejemplo, la incidencia de hipotiroidismo es del 8%, lo que subraya la necesidad de abordar este problema desde una perspectiva clínica y de salud pública. [9,21]

La toma de decisiones en el manejo del HSC durante el embarazo está marcada por una significativa indeterminación. Aunque existen guías clínicas que recomiendan el monitoreo y tratamiento de esta condición, persisten controversias sobre los umbrales exactos de TSH que definen el HSC en mujeres embarazadas, así como sobre la efectividad de los tratamientos. La variabilidad en los rangos de referencia de TSH entre diferentes poblaciones y trimestres del embarazo añade complejidad al diagnóstico y tratamiento.

En este contexto, la lógica difusa y la lógica neutrosofica emergen como herramientas valiosas para abordar la incertidumbre inherente a este tipo de problemas [10]. La lógica difusa permite manejar información imprecisa o incompleta, mientras que la lógica neutrosófica va un paso más allá al incorporar la indeterminación como un componente fundamental en el análisis [11,22]. Estas aproximaciones son particularmente útiles en escenarios donde los datos son ambiguos o contradictorios, como en el caso del HSC, donde los resultados clínicos pueden variar significativamente entre pacientes.

Estudios previos han utilizado estas lógicas para optimizar la toma de decisiones en medicina, permitiendo una evaluación más precisa de riesgos y beneficios. Por ejemplo, la lógica neutrosofica ha sido aplicada en la priorización de tratamientos en enfermedades crónicas, donde la incertidumbre y la variabilidad son comunes [12]. Su aplicación en el manejo del HSC durante el embarazo podría proporcionar un marco analítico sólido para evaluar intervenciones y reducir los riesgos asociados.

Por su parte, los métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM, por sus siglas en inglés) han demostrado ser herramientas efectivas para abordar problemas complejos en el ámbito de la salud, donde múltiples factores deben ser considerados simultáneamente [13]. En el caso del HSC durante el embarazo, estos métodos pueden permitir integrar diversos criterios facilitando la priorización de intervenciones. Sin embargo, la incertidumbre asociada a los datos clínicos y la variabilidad en los resultados obstétricos limitan la efectividad de los enfoques tradicionales.

Aquí es donde la lógica neutrosofica ofrece una ventaja significativa. Extendiendo los principios de la lógica difusa, la lógica neutrosofica incorpora la indeterminación como un componente central, permitiendo una representación más precisa de la realidad [12], [14], [15,23]. Por ejemplo, en el manejo del HSC, la lógica neutrosofica puede capturar la ambigüedad en los umbrales de TSH o la variabilidad en la respuesta al tratamiento, proporcionando un marco más flexible para la toma de decisiones. Estudios recientes han aplicado con éxito la lógica neutrosofica en combinación con métodos MCDM, como el AHP (*Analytic Hierarchy Process*) o TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*), para priorizar intervenciones en salud [16], [17]. En el contexto del HSC, esta fusión permitiría evaluar alternativas consideranto los niveles de incertidumbre asociada a las diferentes opciones.

El método ELECTRE (*Elimination and Choice Expressing Reality*) es una técnica de toma de decisiones multicriterio ampliamente utilizada para priorizar alternativas en escenarios complejos. Su fortaleza radica en su capacidad para manejar criterios conflictivos y relaciones de preferencia entre alternativas, lo que lo hace ideal para problemas donde no existe una solución claramente dominante [18,24]. Sin embargo, la aplicación tradicional del método ELECTRE enfrenta limitaciones cuando los datos son inciertos o ambiguos. En este marco, al extender los principios de la lógica neutrosofica incorporando la indeterminación como un componente central, se puede lograr una representación más precisa de la realidad.

En tal marco, la presente investigación tiene como objetivo demostrar la aplicabilidad de la lógica neutrosófica en la priorización de intervenciones clínicas y preventivas en mujeres embarazadas con hipotiroidismo subclínico. La relevancia de este estudio trasciende el ámbito científico, ya que tiene el potencial de impactar directamente en la práctica clínica y en la planificación de políticas de salud. Al priorizar intervenciones basadas en evidencia, se pueden mejorar los resultados maternos y fetales, reducir costos asociados a complicaciones y promover una atención más equitativa y efectiva.

2. Antecedentes

Definición 1. Sea X un espacio de puntos u objetos, cuyos elementos genéricos se representan como x. Un conjunto neutrosófico de valor único (SVNS, por sus siglas en inglés) A en X se caracteriza por tres funciones de membresía $T_A(x)$, que representa la membresía de verdad; $I_A(x)$, que describe la membresía de indeterminación; y $F_A(x)$, que indica la membresía de falsedad. Por lo tanto, un SVNS A puede expresarse como:

$$\tilde{A} = \{x, \langle T_A^+(x), I_A^+(x), F_{\tilde{A}}^+(x), T_{\tilde{A}}^-(x), I_{\tilde{A}}^-(x), F_{\tilde{A}}^-(x)\rangle | x \in X\},$$

donde $T_A^+(x), I_A^+(x), F_{\tilde{A}}^+(x): X \to [0,1]$ para cada x en X. Además, estas funciones de membresía satisfacen la condición $0 \leq T_{A(x)} + I_{A(x)} + F_{A(x)} \leq 3$. [19]

Definición 2. Un conjunto neutrosófico bipolar A en X se define como un objeto de la forma:

$$\tilde{A} = \{x, \langle T_A^+(x), I_A^+(x), F_{\tilde{A}}^+(x), T_{\tilde{A}}^-(x), I_{\tilde{A}}^-(x), F_{\tilde{A}}^-(x)\rangle | x \in X\},$$

donde las funciones $T_A^+(x), I_A^+(x), F_{\tilde{A}}^+(x): X \to [0,1]$ representan los valores positivos de membresía de verdad, indeterminación y falsedad, respectivamente, mientras que TA−(x)TA−(x), IA−(x)IA−(x), FA−(x):X→[−1,0]FA−(x):X→[−1,0] corresponden a sus valores negativos.

2.2 Método mediante ELECTRE I Bipolar

El método considera la existencia de un conjunto $S = \{S_1, S_2, \cdots, S_m\}$ que representa m alternativas de selección, y un conjunto $T = \{T_1, T_2, \cdots, T_n\}$ que denota n atributos o criterios de evaluación. Además, el vector de pesos asociado a los criterios de evaluación se denota como $W = [w_{1w_2} \cdots w_n]^T$ donde $0 \leq wj \leq 1$ y $\sum j = 1_{nwj} = 1$. Suponiendo que el decisor asigna una calificación a cada alternativa Si, (i=1,2,⋯,m) con respecto a cada atributo Tj, (j=1,2,⋯,n) en forma de conjuntos neutrosóficos bipolares (BNS, por sus siglas en inglés), los pasos del método ELECTRE I se pueden resumir de la siguiente manera:

Paso 1. Cada alternativa se evalúa en función de múltiples criterios. La evaluación de cada alternativa con respecto a cada criterio se representa utilizando BNS, lo que puede expresarse en la matriz de decisión como:

$$K = [k_{ij}]_{m\times n} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ k_{m1} & k_{m2} & \cdots & k_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

donde cada entrada $k_{ij} =< T_{ij}^+, I_{ij}^+, F_{ij}^+, T_{ij}^-, I_{ij}^-, F_{ij}^- >$ se caracteriza de la siguiente manera:

$T_{ij}^+, I_{ij}^+, F_{ij}^+$, representan los grados de membresía positiva de verdad, indeterminación y falsedad, respectivamente.

Mientras que $T_{ij}^-, I_{ij}^-, F_{ij}^-$ representan los grados de membresía negativa de verdad, indeterminación y falsedad.

Estos valores satisfacen las restricciones $T_{ij}^+, I_{ij}^+, F_{ij}^+ \in [0,1]$ $T_{ij}^-, I_{ij}^-, F_{ij}^- \in [-1,0]$, y $0 \leq T_{ij}^+, I_{ij}^+, F_{ij}^+, T_{ij}^-, I_{ij}^-, F_{ij}^- \leq 6$, donde i=1,2,3,…,m and j=1,2,3,…,n.

Paso 2. Cuando los pesos de los criterios no están distribuidos uniformemente y sus valores son desconocidos para el decisor, se emplea el método de maximización de la desviación para determinar los pesos no especificados. En consecuencia, el peso del atributo T_j se calcula de la siguiente manera:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^{m} \sum_{l=1}^{m} |k_{ij} - k_{lj}|}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{m} \sum_{l=1}^{m} |k_{ij} - k_{lj}|\right)^2}}, \quad (2)$$

Y el peso normalizado del atributo T_j se determina como se describe en la Ecuación (3):

$$w_j^* = \frac{\sum_{i=1}^{m} \sum_{l=1}^{m} |k_{ij} - k_{lj}|}{\sum_{j=1}^{n} \left(\sum_{i=1}^{m} \sum_{l=1}^{m} |k_{ij} - k_{lj}|\right)}. \quad (3)$$

Paso 3: La matriz de decisión agregada ponderada neutrosófica bipolar se calcula multiplicando los pesos de los atributos con la matriz de decisión agregada de la siguiente manera:

$$K * W = [k_{ij}^{w_j}]_{m\times n} = \begin{bmatrix} k_{11}^{w_1} & k_{12}^{w_2} & \cdots & k_{1n}^{w_n} \\ k_{21}^{w_1} & k_{22}^{w_2} & \cdots & k_{2n}^{w_n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ k_{m1}^{w_1} & k_{m2}^{w_2} & \cdots & k_{mn}^{w_n} \end{bmatrix} \tag{4}$$

donde

$$k_{ij}^{w_j} =< T_{ij}^{w_j+}, I_{ij}^{w_j+}, F_{ij}^{w_j+}, T_{ij}^{w_j-}, I_{ij}^{w_j-}, F_{ij}^{w_j-} >$$
$$=< 1-(1-T_{ij}^{+})^{w_j}, (I_{ij}^{+})^{w_j}, (F_{ij}^{+})^{w_j}, -(-T_{ij}^{-})^{w_j}, -(-I_{ij}^{-})^{w_j}, -(1-(1-(-F_{ij}^{-}))^{w_j}) >$$

Paso 4: Los conjuntos de concordancia E_{xy} y discordancia F_{xy} neutrosóficos bipolares se definen como::

$$\begin{aligned} E_{xy} &= \{1 \le j \le n | \rho_{xj} \ge \rho_{yj}\}, x \ne y, x, y = 1,2,\cdots,m, \\ F_{xy} &= \{1 \le j \le n | \rho_{xj} \le \rho_{yj}\}, x \ne y, x, y = 1,2,\cdots,m, \end{aligned} \tag{5}$$

donde $\rho_{ij} = T_{ij}^{+} + I_{ij}^{+} + F_{ij}^{+} + T_{ij}^{-} + I_{ij}^{-} + F_{ij}^{-}, i = 1,2,\cdots,m$ y $j = 1,2,\cdots,n$

Paso 5: La matriz de concordancia neutrosófica bipolar E se construye como:

$$E = \begin{bmatrix} - & e_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & e_{1m} \\ e_{21} & - & \cdot & \cdot & \cdot & e_{2m} \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ e_{m1} & e_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & - \end{bmatrix}$$

donde los índices de concordancia bipolar $e_{(xy)}$ se calculan utilizando (6):

$$e_{xy} = \sum_{j\in E_{xy}} w_j \tag{6}$$

Paso 6: La matriz de discordancia neutrosófica bipolar F se construye:

$$F = \begin{bmatrix} - & f_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & f_{1m} \\ f_{21} & - & \cdot & \cdot & \cdot & f_{2m} \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & - \end{bmatrix},$$

Donde los índices de discordancia bipolar $f_{xy}'s$ se determinan mediante:

$$f_{xy} = \frac{\max\limits_{j\in F_{xy}} \sqrt{\frac{1}{6n}\left\{\begin{matrix} (T_{xj}^{w_j+} - T_{yj}^{w_j+})^2 + (I_{xj}^{w_j+} - I_{yj}^{w_j+})^2 + (F_{xj}^{w_j+} - F_{yj}^{w_j+})^2 + \\ (T_{xj}^{w_j-} - T_{yj}^{w_j-})^2 + (I_{xj}^{w_j-} - I_{yj}^{w_j-})^2 + (F_{xj}^{w_j-} - F_{yj}^{w_j-})^2 \end{matrix}\right\}}}{\max\limits_{j} \sqrt{\frac{1}{6n}\left\{\begin{matrix} (T_{xj}^{w_j+} - T_{yj}^{w_j+})^2 + (I_{xj}^{w_j+} - I_{yj}^{w_j+})^2 + (F_{xj}^{w_j+} - F_{yj}^{w_j+})^2 + \\ (T_{xj}^{w_j-} - T_{yj}^{w_j-})^2 + (I_{xj}^{w_j-} - I_{yj}^{w_j-})^2 + (F_{xj}^{w_j-} - F_{yj}^{w_j-})^2 \end{matrix}\right\}}} \tag{7}$$

Paso 7: Los niveles de concordancia y discordancia se calculan para clasificar las alternativas. El nivel de concordancia neutrosófica bipolar $\hat{e}$ se calcula como:

$$\hat{e} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{\substack{x=1, \\ x\ne y}}^{m} \sum_{\substack{y=1, \\ y\ne x}}^{m} e_{xy} \tag{8}$$

De manera similar, el nivel de discordancia neutrosófica bipolar $\hat{f}$ está dado por:

$$\hat{f} = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{\substack{x=1, \\ x\ne y}}^{m} \sum_{\substack{y=1, \\ y\ne x}}^{m} f_{xy} \tag{9}$$

Paso 8: Las matrices de dominancia de concordancia ϕ y discordancia ψ, neutrosóficas bipolares se determinan como:

$$\phi = \begin{bmatrix} - & \phi_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \phi_{1m} \\ \phi_{21} & - & \cdot & \cdot & \cdot & \phi_{2m} \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \phi_{m1} & \phi_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & - \end{bmatrix},$$

$$\psi = \begin{bmatrix} - & \psi_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \psi_{1m} \\ \psi_{21} & - & \cdot & \cdot & \cdot & \psi_{2m} \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \psi_{m1} & \psi_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & - \end{bmatrix}$$

donde

$$\phi_{xy} = \begin{cases} 1, & \text{if} e_{xy} \geq \hat{e}, \\ 0, & \text{if} e_{xy} < \hat{e}. \end{cases} \tag{10}$$

$$\psi_{xy} = \begin{cases} 1, & \text{if} f_{xy} \leq \hat{f}, \\ 0, & \text{if} f_{xy} > \hat{f}. \end{cases} \tag{11}$$

Paso 9: La matriz de dominancia agregada neutrosófica bipolar π se calcula combinando las matrices ϕ y ψ, como:

$$\pi = \begin{bmatrix} - & \pi_{12} & \cdot & \cdot & \cdot & \pi_{1m} \\ \pi_{21} & - & \cdot & \cdot & \cdot & \pi_{2m} \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \cdot & & & & & \\ \pi_{m1} & \pi_{m2} & \cdot & \cdot & \cdot & - \end{bmatrix}$$

donde

$$\pi_{xy} = \phi_{xy}\psi_{xy} \tag{12}$$

Paso 10: Finalmente, las alternativas se clasifican en función de los valores de dominancia π_{xy}.
Para cada par de alternativas S_x y S_y:
(a) Una flecha simple de S_x a S_y indica que S_x es preferida
(b) Dos flechas indican indiferencia entre S_x y S_y.
(c) Ninguna flecha significa incomparabilidad entre S_x and S_y

3. Resultados

Se realizó una revisión bibliográfica basada en una búsqueda sistemática de artículos científicos en bases de datos de relevancia científica (PubMed, Web of Science (WoS), Scopus y Google Scholar) utilizando como términos clave «*Subclinical hypothyroidism and pregnancy*», «*Hypothyroidism, Pregnancy*» y «*Hipotiroidismo subclínico en el embarazo*», combinados con operadores booleanos para precisar resultados relacionados con riesgos gestacionales y consecuencias clínicas. Se aplicaron criterios de inclusión que priorizaron guías clínicas, revisiones sistemáticas y estudios publicados entre 2019 y 2023, escritos en inglés o español, con el fin de garantizar actualidad y rigor científico. Se excluyeron estudios observacionales, casos clínicos y publicaciones en otros idiomas, lo que permitió seleccionar 45 artículos relevantes para el análisis.

El análisis realizado proporcionó una visión clara sobre el impacto del hipotiroidismo subclínico en la fertilidad y el embarazo proyectando varios hallazgos que merecen ser tomados en consideración para su respectivo manejo. En primer lugar, se identificó que los trastornos hipertensivos del embarazo representaron el riesgo materno más significativo, con un *odds ratio* (OR) de 4.04 (IC 95%: 1.85–8.84; $p < 0.001$). Esto sugirió que las mujeres con HSC tienen cuatro veces más probabilidades de desarrollar esta complicación en comparación con aquellas sin la

condición (Tabla 1). Por otro lado, la colestasis intrahepática (OR: 1.72; IC 95%: 0.40–7.42; $p = 0.47$) y la diabetes gestacional (OR: 1.05; IC 95%: 0.66–1.69; $p = 0.84$) no alcanzaron significación estadística, lo que indica que su asociación con el HSC requiere mayor investigación.

Tabla 1: Riesgos del hipotiroidismo subclínico sobre la madre.

Riesgos maternos	OR	Intervalo de confianza del 95% (IC)	P-valor
Trastornos hipertensivos del embarazo	4.04	[1.85-8.84]	0.000
Colestasis intrahepática del embarazo	1.72	[0.40-7.42]	0.47
Diabetes gestacional	1.05	[0.66-1.69]	0.84
Placenta previa	1.53	0.76-3.09	0.23

Fuente: [20]

Respecto a la fertilidad, el HSC se asoció con un aumento de 2.25 veces en el riesgo de infertilidad femenina (IC 95%: 1.02–5.12; $p = 0.045$), mientras que la disfunción ovulatoria y las irregularidades menstruales, aunque observadas clínicamente, carecieron de datos cuantitativos suficientes para su análisis. El mecanismo fisiopatológico subyacente se vinculó principalmente con la hiperprolactinemia secundaria a la disfunción tiroidea, la cual altera la secreción pulsátil de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), generando ciclos anovulatorios y deficiencia de progesterona.

Estos resultados enfatizaron que el HSC no tratado durante el embarazo no solo puede incrementar los riesgos materno-fetales, sino que también compromete la salud reproductiva a largo plazo. En tal sentido, se propuso un grupo de consideraciones de alto impacto para minimizar las afecciones potenciales en pacientes de riesgo. La tabla 2 resume los principales aspectos a considerar.

Tabla 2: Estrategias propuestas para el manejo del hipotiroidismo subclínico en embarazadas.

Intervención	Objetivo Principal	Implementación	Resultados Esperados
Suplementación con levotiroxina	Normalizar niveles de TSH y reducir riesgos materno-fetales.	Dosificación ajustada según perfil tiroideo, seguimiento trimestral de TSH y T4 libre.	Reducción del trastornos hipertensivos, mejora del APGAR fetal
Monitoreo clínico intensivo	Detección temprana de complicaciones y seguimiento fetal.	Evaluación mensual de TSH, ecografías Doppler para crecimiento fetal, y monitoreo de presión arterial semanal.	Disminución en muerte fetal y reducción de RCIU
Educación nutricional	Corregir deficiencias de yodo y promover hábitos saludables.	Programas educativos con suplementos de yodo, talleres sobre dieta balanceada y actividad física.	Reducción en progresión a hipotiroidismo clínico y mejora de parámetros tiroideos
Derivación a especialistas	Optimizar manejo multidisciplinario en casos complejos.	Protocolos de derivación a endocrinología y obstetricia de alto riesgo en el primer trimestre.	Reducción en complicaciones graves y mejora en tasas de fertilidad post-tratamiento

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar y priorizar las estrategias propuestas, se asignaron pesos a los criterios según su relevancia e impacto. El impacto clínico recibió un peso del 40%, al ser considerado el factor más crítico para reducir riesgos materno-fetales. Por su parte, el costo-efectividad se consideró con un 30% de importancia, ya que garantiza que los recursos se utilicen de manera eficiente. La viabilidad obtuvo una valoración de un 20%, al considerar la disponibilidad de recursos en distintos contextos, mientras que la aceptabilidad se valoró con un 10%, dada su naturaleza más subjetiva.

Las alternativas identificadas fueron sometidas a evaluación por parte de expertos, quienes las analizaron bajo los criterios previamente definidos. Este proceso permitió asignar valores a cada estrategia en función de su desempeño en los distintos criterios, utilizando números bipolares neutrosóficos para capturar la complejidad y la incertidumbre inherente a la toma de decisiones. La Tabla 3 presenta la matriz de decisión resultante, que refleja de manera estructurada la evaluación de cada alternativa en términos de sus grados de verdad, indeterminación y falsedad en sus aspectos positivos y negativos.

Tabla 3: Matriz de decisión de números bipolares.

	Impacto clínico	**Costo-efectividad**	**Viabilidad**	**Aceptabilidad**
Suplementación con levotiroxina	(0.5, 0.3, 0.5, -0.6, -0.3, -0.4)	(0.5, 0.3, 0.2, -0.5, -0.2, -0.4)	(0.2, 0.6, 0.5, -0.3, -0.4, -0.3)	(0.4, 0.2, 0.5, -0.1, -0.6, -0.4)
Monitoreo clínico intensivo	(0.3, 0.5, 0.2, -0.5, -0.7, -0.5)	(0.2, 0.64, 0.1, -0.5, -0.3, -0.7)	(0.5, 0.2, 0.5, -0.6, -0.3, -0.1)	(0.2, 0.7, 0.5, -0.5, -0.3, -0.2)
Educación nutricional	(0.4, 0.5, 0.3, -0.5, -0.3, -0.6)	(0.4, 0.5, 0.2, -0.3, -0.7, -0.5)	(0.8, 0.5, 0.7, -0.3, -0.4, -0.3)	(0.3, 0.6, 0.6, -0.5, -0.5, -0.3)
Derivación a especialistas	(0.5, 0.6, 0.5, -0.1, -0.1, -0.3)	(0.7, 0.4, 0.6, -0.1, -0.3, -0.3)	(0.6, 0.3, 0.6, -0.1, -0.4, -0.2)	(0.8, 0.3, 0.2, -0.1, -0.3, -0.1)

Fuente: Elaboración propia

Los pesos asignados a los criterios, en conjunto con la matriz de decisión inicial, facilitan la obtención de la matriz agregada ponderada bipolar. Este proceso se realiza multiplicando cada valor de la matriz de decisión por el peso correspondiente a su criterio de evaluación, tal como se describe en la ecuación (4). La normalización permite estandarizar los valores, asegurando que cada criterio contribuya proporcionalmente a la evaluación global según su importancia relativa. La Tabla 4 muestra la matriz ponderada resultante, que refleja de manera precisa el impacto ponderado de cada alternativa en función de los criterios definidos.

Tabla 4: Matriz agregada ponderada de números bipolares.

	Impacto clínico	**Costo-efectividad**	**Viabilidad**	**Aceptabilidad**
Suplementación con levotiroxina	0.08	0.06	0.05	0.04
Monitoreo clínico intensivo	0.06	0.06	0.05	0.01
Educación nutricional	0.1	0.09	0.04	0.05
Derivación a especialistas	0.08	0.06	0.05	0.04

Fuente: Elaboración propia

A partir de estos datos, fue posible determinar los conjuntos de concordancia y discordancia neutrosóficos bipolares, los cuales se presentan en las Tablas 5 y 6, respectivamente.

Tabla 5: Conjuntos de concordancia neutrosófica bipolar.

E_{1y}	{-}	{2, 3}	{1, 2, 4}	{0}
E_{2y}	{4}	{-}	{4}	{0}
E_{3y}	{3}	{1,2,3}	{-}	{3}
E_{4y}	{1,2,3,4}	{1,2,3,4}	{1,2,4}	{-}

Tabla 6: Conjuntos de discordancia neutrosófica bipolar.

E_{1y}	{-}	{1, 4}	{3}	{1,2,3,4}
E_{2y}	{1,2,3}	{-}	{1,2,3}	{1,2,3,4}
E_{3y}	{1,2,4}	{4}	{-}	{1,2,4}
E_{4y}	{0}	{0}	{3}	{-}

Con base en los datos recopilados y aplicando las ecuaciones 6 y 7, se procedió al cálculo de la matriz de concordancia neutrosófica E y la matriz de discordancia neutrosófica F. Estas matrices ofrecen una representación cuantitativa de las relaciones de concordancia y discordancia entre las alternativas evaluadas. La matriz de concordancia E refleja el grado en que una alternativa supera a otra en términos de los criterios definidos, mientras que la matriz de discordancia F identifica las áreas donde una alternativa puede ser inferior.

$$E_{xy} = \begin{bmatrix} - & 0.50 & 0.80 & 0.00 \\ 0.10 & - & 0.10 & 0.00 \\ 0.20 & 0.90 & - & 0.20 \\ 1.00 & 1.00 & 0.80 & - \end{bmatrix} \qquad F_{xy} = \begin{bmatrix} - & 1.00 & 0.52 & 1.00 \\ 1.00 & - & 1.00 & 1.00 \\ 1.00 & 0.18 & - & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.46 & - \end{bmatrix}$$

Con los niveles de concordancia y discordancia calculados ($\hat{e} = 0.467\ y\ \hat{f} = 0.68$), se procedió a aplicar las ecuaciones 10 y 11 para obtener las matrices de dominancia de concordancia neutrosófica bipolar ϕ y matrices de dominancia de discordancia neutrosófica bipolar ψ. Estas matrices permiten identificar las alternativas que superan a otras en términos de concordancia y aquellas que presentan menores niveles de discordancia. Esta información es crucial para clasificar las estrategias propuestas, ya que proporciona una base cuantitativa para comparar su desempeño relativo. Al integrar estos resultados, se puede determinar cuál de las alternativas es la más efectiva según los criterios establecidos, facilitando una toma de decisiones fundamentada y priorizada.

Finalmente, a partir de estas, fue posible obtener la matriz de dominancia resultante, que integra los niveles de concordancia y discordancia calculados. Esto permitió identificar cuáles estrategias son más efectivas en función de los criterios definidos. Esta matriz no solo refleja la superioridad relativa de cada alternativa, sino que también resalta las áreas donde ciertas estrategias pueden presentar limitaciones. A continuación, se presenta la matriz resultante, la cual proporciona una visión clara y estructurada de las relaciones de preferencia.

$$\pi = \begin{bmatrix} - & 0 & 1 & 0 \\ 0 & - & 0 & 0 \\ 0 & 1 & - & 0 \\ 1 & 1 & 1 & - \end{bmatrix}$$

La matriz de dominancia resultante permitió establecer relaciones claras de preferencia entre las estrategias propuestas. La suplementación con levotiroxina mostró una preferencia directa sobre la educación nutricional, indicando que, en términos de impacto clínico y viabilidad, la primera es más efectiva. Por otro lado, la educación nutricional fue preferida sobre el monitoreo clínico intensivo. Esto sugiere que, aunque ambas son relevantes, la educación nutricional tiene un mayor alcance en la prevención y el manejo a largo plazo.

La derivación a especialistas emergió como la alternativa más dominante, mostrando preferencia sobre las otras tres estrategias. Esto refleja su capacidad para integrar un manejo personalizado y multidisciplinario, especialmente en casos complejos o de alto riesgo. Sin embargo, la ausencia de flechas entre el monitoreo clínico intensivo y la suplementación con levotiroxina indicó incomparabilidad, sugiriendo que su elección depende del contexto clínico y los recursos disponibles.

4. Discusión

La aplicación de la lógica neutrosófica en el tema de estudio demostró ser una herramienta poderosa para abordar la complejidad y la incertidumbre inherentes a este tipo de decisiones clínicas. Al integrar el método ELECTRE I, para la toma de decisiones multicriterio, se logró capturar no solo la información cuantitativa, sino también los matices cualitativos que surgen al evaluar alternativas en contextos donde los datos suelen ser ambiguos o incompletos. Este enfoque permitió manejar de manera efectiva las dimensiones de verdad, falsedad e indeterminación en este proceso, lo que resultó crucial para comprender las relaciones de preferencia entre las estrategias propuestas. [25,26]

Los resultados obtenidos reflejaron que la derivación a especialistas constituyó la alternativa más dominante, superando a las demás con respecto a los criterios evaluados. La lógica neutrosófica, al permitir la integración de múltiples criterios y la ponderación de incertidumbres, facilitó una evaluación más equilibrada y realista de las alternativas. Este enfoque no solo identificó la estrategia más efectiva, sino que también proporcionó una base para la toma de decisiones informadas en entornos donde la información puede ser parcial o contradictoria. La combinación de métodos multicriterio con la lógica neutrosófica resultó ser una solución innovadora y efectiva para priorizar intervenciones en salud, demostrando su utilidad en la mejora de resultados clínicos y en la optimización de recursos sanitarios. [27]

5. Conclusión

El estudio permitió demostrar la aplicabilidad de la lógica neutrosófica y los métodos de decisión multicriterio en la priorización de intervenciones para el manejo del hipotiroidismo subclínico en mujeres embarazadas. La integración de estos enfoques facilitó la evaluación de alternativas bajo criterios múltiples, considerando varios criterios de interés. Esto permitió capturar la incertidumbre y la complejidad inherentes a la toma de decisiones en el ámbito de la salud, ofreciendo una visión más completa y realista de las opciones disponibles.

La aplicación de la lógica neutrosófica, en combinación con el método ELECTRE, permitió identificar que la derivación a especialistas resultó la estrategia más dominante para el manejo de esta enfermedad en la población analizada. Estos resultados resaltaron la importancia de un enfoque personalizado y multidisciplinario, especialmente en casos de alto riesgo. La metodología utilizada no solo priorizó las estrategias evaluadas, sino que también proporcionó una base concreta para la implementación de políticas y protocolos clínicos.

Este estudio representó un avance significativo en la aplicación de herramientas para la toma de decisiones en salud, demostrando que la lógica neutrosófica y los métodos multicriterio son efectivos para manejar problemas complejos y multidimensionales en este contexto. El estudio contribuyó a fortalecer el marco teórico y práctico para la priorización de intervenciones en salud, ofreciendo un enfoque adaptable a diversas realidades clínicas.

Referencias

[1] A. Á. Castillo, J. M. R. Alfaro, and A. S. Boza, "Abordaje del hipotiroidismo subclínico en el adulto," *Rev. Médica Sinerg.*, vol. 5, no. 02, p. 358, 2020, [Online]. Available: https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=92153.

[2] T. Valle-Pimienta, Y. Lago-Díaz, G. Rosales-Álvarez, Y. Breña-Pérez, S. Ordaz-Díaz, and A. Pérez-Aguado, "Infertilidad e hipotiroidismo subclínico," *Rev. Arch. Médico Camagüey*, vol. 24, no. 4, 2020, [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1025-02552020000400008&script=sci_arttext.

[3] G. P. López-Pérez, T. J. Fiallos-Mayorga, G. G. Quinatoa-Caba, and J. M. Delgado-Jiménez, "Hipotiroidismo subclínico en el embarazo una revisión para la actualización diagnóstica," *Dominio las Ciencias*, vol. 7, no. 5, pp. 93–109, 2021, [Online]. Available: https://doi.org/10.23857/dc.v7i5.2236.

[4] P. Carrillo-Mora, A. García-Franco, M. Soto-Lara, G. Rodríguez-Vásquez, J. Pérez-Villalobos, and D. Martínez-Torres, "Cambios fisiológicos durante el embarazo normal," *Rev. la Fac. Med.*, vol. 64, no. 1, pp. 39–48, 2021, [Online]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0026-17422021000100039.

[5] D. L. Serdán Ruiz, K. K. Vásquez Bone, and A. E. Yupa Pallchisaca, "Cambios fisiológicos y anatómicos en el cuerpo de la mujer durante el embarazo," *Universidad, Cienc. y Tecnol.*, vol. 27, no. 119, pp. 29–40, 2023, [Online]. Available: https://doi.org/10.47460/uct.v27i119.704.

[6] K. A. Abuhadba-Cayao, J. E. Talavera, V. J. Vera-Ponce, and J. A. Cruz-Vargas, "Tratamiento médico en gestantes con hipotiroidismo subclínico: revisión sistemática y meta-análisis," *Rev. Bras. Saúde Matern. Infant.*, vol. 22, pp. 227–235, 2022, [Online]. Available: https://doi.org/10.1590/1806-9304202200020003.

[7] K. del R. C. Benavides, S. A. P. Lucero, and V. E. J. Proaño, "Hipotiroidismo subclínico gestacional," *La Cienc. al Serv. la Salud y la Nutr.*, vol. 14, no. Ed. Esp., pp. 20–27, 2023, [Online]. Available: http://revistas.espoch.edu.ec/index.php/cssn/article/view/827.

[8] M. D. R. Urgilez, "Hipotiroidismo en Mujeres de Edad Fértil, Análisis Actual," *J. Am. Heal.*, vol. 7, no. 2, 2024, [Online]. Available: https://www.jah-journal.com/index.php/jah/article/view/203.

[9] S. Israel, M. Urgilés, B. Oswaldo, M. Montoya, and M. P. I. Rea, "Prevención y complicaciones del hipotiroidismo en gestantes. Hospital Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social. Riobamba. 2020." (Tesis de pregrado)Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, [Online]. Available: http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8354.

[10] G. Morales-Luna, "Introducción a la lógica difusa," *Cent. Investig. y Estud. Av. México*, 2002, [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/32422813/1Introduccinalalgicadifusa.pdf.

[11] R. R. Gualdrón, F. Smarandache, and C. D. Bohorquez, "Aplicación de la teoría neutrosófica para el tratamiento de la incertidumbre en la gestión del riesgo en la cadena de suministro," *Aglala*, vol. 10, no. 2, pp. 1–19, 2019, [Online]. Available: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7383538.

[12] C. E. P. Hernández, Z. R. N. Chuga, and M. V. A. Hidalgo, "Empleo de la neutrosofía para la evaluación del conocimiento sobre síndrome del cuidador en pacientes con enfermedad renal crónica que se realizan diálisis en la clínica Menydial," *Neutrosophic Comput. Mach. Learn. ISSN 2574-1101*, vol. 27, pp. 97–106, 2023, [Online]. Available: http://fs.unm.edu/NCML2/index.php/112/article/view/342.

[13] M. R. Ahmad, M. Saeed, U. Afzal, and M.-S. Yang, "A novel MCDM method based on plithogenic hypersoft sets under fuzzy neutrosophic environment," *Symmetry (Basel).*, vol. 12, no. 11, p. 1855, 2020.

[14] S. Pramanik, "Single-Valued Neutrosophic Set: An Overview," *Transdisciplinarity*, pp. 563–608, 2022. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-94651-7_26

[15] F. Smarandache and N. Martin, "Decision Making on Teachers' adaptation to Cybergogy in Saturated

Interval-valued Refined Neutrosophic overset/underset/offset Environment," *Int. J. Neutrosophic Sci.*, vol. 12, no. 2, p. 58, 2020. [Online]. Available: https://digitalrepository.unm.edu/math_fsp/445/

[16] R. Ahmed, F. Nasiri, and T. Zayed, "Neutrosophic-AHP-based GA model for renewals planning of hospital building assets," in *2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA)*, 2020, pp. 1–5, [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9317119/.

[17] M. Abdel-Basset, G. Manogaran, A. Gamal, and F. Smarandache, "A group decision making framework based on neutrosophic TOPSIS approach for smart medical device selection," *J. Med. Syst.*, vol. 43, pp. 1–13, 2019, [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/s10916-019-1156-1.

[18] S. Singh, S. K. Verma, and A. (2020) Tiwari, "A novel approach for finding crucial node using ELECTRE method.," *Int. J. Mod. Phys. B*, vol. 34, no. 09, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1142/S0217979220500769

[19] J. L. Salmeron and F. Smarandache, "Redesigning Decision Matrix Method with an indeterminacy-based inference process," *Int. J. Appl. Math. Stat.*, vol. 13, no. M 08, pp. 4–11, 2008, [Online]. Available: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=c6b6024f4464e582d3e5aebefbb853876de194ac.

[20] M.-Q. Wu, J. Liu, Y.-Q. Wang, Y. Yang, C.-H. Yan, and J. Hua, "The impact of subclinical hypothyroidism on adverse perinatal outcomes and the role of thyroid screening in pregnancy," *Front. Endocrinol. (Lausanne).*, vol. 10, p. 522, 2019, https://www.frontiersin.org/journals/endocrinology/articles/10.3389/fendo.2019.00522/full.

[21] de León, E. R., Marqués, L. L., Poleo, A., & von Feigenblatt, O. F. "El estilo del liderazgo educativo en el proceso de enseñanza: una revisión de la literatura". In Anales de la Real Academia de Doctores. vol. 9, num. 2, pp. 289-308, 2024

[22] Márquez Carriel, D. C., Oña Garcés, L., Vergara Romero, A., & Márquez Sánchez, F. "Assessing the need for a feminist foreign policy in Ecuador through a sentiment analysis based on neutroAlgebra". Neutrosophic Sets and Systems, vol. 71, num. 1, pp. 16, 2024.

[23] Romero, A. V., Sánchez, F. M., & Estupiñán, C. P. "Inteligencia artificial en gestión hotelera: aplicaciones en atención al cliente". El patrimonio y su perspectiva turística, pp. 409-423, 2024.

[24] von Feigenblatt, O. F. "Research Ethics in Education. In Ethics in Social Science Research: Current Insights and Practical Strategies", pp. 97-105. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025.

[25] von Feigenblatt, O. F. "Immediacy and Sustainable Development: The Perspective of Youth". Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF, vol. 19, num 2, 2024

[26] Vásquez, Á. B. M., Carpio, D. M. R., Faytong, F. A. B., & Lara, A. R. "Evaluación de la satisfacción de los estudiantes en los entornos virtuales de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes". Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores, 2024.

[27] Vergara-Romero, A., Macas-Acosta, G., Márquez-Sánchez, F., & Arencibia-Montero, O. "Child Labor, Informality, and Poverty: Leveraging Logistic Regression, Indeterminate Likert Scales, and Similarity Measures for Insightful Analysis in Ecuador". Neutrosophic Sets and Systems, vol 66, pp 136-145, 2024

Recibido: febrero 28, 2025. Aceptado: marzo 21, 2025