



Factores causales clave del síndrome de Hamman posparto

Key causal factors of postpartum Hamman's syndrome

Oscar David Salazar Correa ¹, Camila Dayaneth Mier Báez ², and Washington Omar Guevara Pérez ³

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ibarra, Ecuador. docentettp115@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ibarra, Ecuador. camilamb75@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ibarra, Ecuador. ui.washingtonp68@uniandes.edu.ec

Resumen. Este estudio evaluó los factores asociados al síndrome de Hamman posparto mediante un análisis basado en DEMATEL y lógica neutrosófica, con el fin de modelar sus relaciones causales y determinar su impacto. La selección de factores se sustentó en una revisión sistemática de la bibliografía especializada, identificando 10 variables clínicamente relevantes. Ocho expertos en obstetricia y neumología evaluaron las interacciones entre estos factores utilizando escalas lingüísticas neutrosóficas, lo que permitió manejar la incertidumbre inherente a los datos clínicos. Los resultados mostraron que la maniobra de Valsalva intensa y la duración prolongada del segundo período expulsivo fueron los factores más influyentes, actuando como nodos centrales en la red de interacciones. La primigestación destacó como el principal factor causal, mientras que el enfisema subcutáneo cervical, la macrosomía fetal y la analgesia epidural se identificaron como efectos más que como causas. Otros factores como la edad materna avanzada y los antecedentes respiratorios tuvieron menor prominencia, sugiriendo un papel menos directo en el desarrollo del síndrome. La integración de DEMATEL con neutrosofía demostró ser efectiva para analizar problemas médicos complejos, diferenciando claramente entre causas y efectos. Este enfoque podría extenderse a otras complicaciones obstétricas, ofreciendo una herramienta valiosa para la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia.

Palabras Claves: síndrome de Hamman, DEMATEL, neutrosofía, relaciones causales, obstetricia, toma de decisiones clínicas

Abstract. This study evaluated factors associated with postpartum Hamman's syndrome using an integrated DEMATEL and neutrosophic logic analysis to model causal relationships and determine their impact. Factor selection was based on a systematic literature review, identifying 10 clinically relevant variables. Eight obstetrics and pulmonology experts assessed interactions between these factors using neutrosophic linguistic scales, enabling management of inherent clinical data uncertainty. Results demonstrated that intense Valsalva maneuver and prolonged second stage of labor emerged as the most influential factors, functioning as central nodes in the interaction network. Primigravidity was identified as the primary causal factor, while cervical subcutaneous emphysema, fetal macrosomia, and epidural analgesia were characterized as effects rather than causes. Other factors including advanced maternal age and respiratory history showed lower prominence, suggesting a less direct role in syndrome development. The integration of DEMATEL with neutrosophy proved effective for analyzing complex medical problems by clearly differentiating between causes and effects. This approach could be extended to other obstetric complications, providing a valuable evidence-based clinical decision-making tool.

Keywords: Hamman's syndrome, DEMATEL, neutrosophy, causal relationships, obstetrics, clinical decision-making.

1 Introducción

El síndrome de *Hamman*, también conocido como neumomediastino espontáneo, es una afección poco frecuente que se presenta en aproximadamente 1 de cada 100.000 partos [1]. Fue descrito por primera vez por Louis Hamman en la década de 1940 y se caracteriza por la presencia de aire en el mediastino sin un traumatismo subyacente [2]. Aunque suele afectar a varones jóvenes, también se ha documentado en mujeres embarazadas, especialmente durante el trabajo de parto prolongado [3]. Este fenómeno está relacionado con la maniobra de Valsalva prolongada, frecuente en la segunda etapa del parto, así como con episodios de tos intensa, vómitos o esfuerzo físico excesivo. [4]

Clínicamente, puede manifestarse con disnea, dolor torácico y un sonido crepitante sincronizado con el pulso,

conocido como el "signo de Hamman", que se detecta mediante auscultación cuando la paciente se encuentra en decúbito lateral izquierdo [5]. En la mayoría de los casos, la condición es autolimitada y benigna; sin embargo, en situaciones excepcionales, puede derivar en complicaciones graves como neumomediastino maligno, lo que requiere una intervención médica inmediata.[6]

A pesar de su baja incidencia, este síndrome plantea desafíos importantes en el ámbito obstétrico y neumológico. El diagnóstico suele ser complejo, ya que sus síntomas pueden confundirse con otras patologías torácicas, como neumotórax o embolismo pulmonar, lo que puede retrasar la identificación y el manejo adecuado. La falta de conocimiento sobre su fisiopatología y los factores predisponentes dificulta la implementación de estrategias preventivas eficaces [7,26]. Además, el subregistro de casos y la escasez de estudios amplios han limitado la comprensión integral de la enfermedad, dejando un vacío en la literatura científica respecto a su incidencia real y los factores que aumentan la susceptibilidad en determinadas pacientes. En este contexto, resulta fundamental adoptar estrategias de análisis que permitan comprender mejor los factores biomédicos y clínicos implicados en su aparición, con el fin de optimizar su detección temprana y minimizar sus posibles complicaciones.

El estudio de este síndrome requiere un análisis basado en información verificable que permita identificar relaciones causales y cuantificar la influencia de distintos factores. La variabilidad en los síntomas y la falta de patrones clínicos uniformes hacen necesario un enfoque que integre múltiples fuentes de información para evaluar el problema de manera estructurada [8]. La identificación de relaciones entre variables biomédicas, antecedentes obstétricos y condiciones predisponentes permitirá mejorar los protocolos de atención en el parto y el posparto. Para lograrlo, es indispensable aplicar métodos que permitan gestionar la complejidad de los datos clínicos sin depender únicamente de la experiencia subjetiva de los profesionales de la salud.

Los modelos tradicionales empleados en el estudio de este tipo de afecciones suelen basarse en enfoques deterministas, los cuales presentan limitaciones al analizar fenómenos con alto grado de incertidumbre. La variabilidad en la respuesta clínica de las pacientes, junto con la falta de estudios de gran escala, dificulta el establecimiento de relaciones directas entre las posibles causas y el desarrollo del síndrome. Además, los métodos clásicos no siempre permiten capturar la ambigüedad inherente a los datos clínicos, ya que en muchos casos los registros médicos son incompletos o dependen de interpretaciones subjetivas [9,27], [10]. Esta falta de precisión en la identificación de factores influyentes puede llevar a conclusiones erróneas y a estrategias de prevención ineficaces.

Para superar estas limitaciones, se ha propuesto el uso de herramientas que permitan evaluar la interdependencia de diversos factores bajo condiciones de incertidumbre. Técnicas de análisis multicriterio como TOPSIS y AHP han sido ampliamente utilizadas en estudios biomédicos para priorizar alternativas y determinar relaciones causales [11], [12]. No obstante, estas metodologías pueden verse afectadas por la subjetividad de las ponderaciones asignadas a los criterios. En este sentido, la teoría neutrosófica ofrece una alternativa más flexible, ya que permite modelar la indeterminación y manejar la ambigüedad presente en la información médica [13]. Al incorporar valores de verdad, falsedad e indeterminación, este enfoque facilita la integración de datos incompletos o contradictorios, proporcionando resultados más adaptables a diversos contextos clínicos.[14], [15]

En este estudio, se emplea un análisis basado en DEMATEL combinado con neutrosofía [16] para evaluar la influencia causal de los distintos factores asociados al síndrome de Hamman post parto vaginal. Con la utilización de este método se busca modelar la estructura de las relaciones entre las variables y determinar cuáles tienen mayor impacto en la aparición del síndrome [17,28]. Al realizar el análisis integrando la neutrosofía, se busca poder manejar la incertidumbre inherente a los datos clínicos, y mejorar la precisión de los análisis. Esta combinación metodológica busca no solo identificar los factores más relevantes, sino también comprender sus interacciones, lo que puede ser clave para desarrollar estrategias de prevención más eficaces y mejorar el manejo clínico de las pacientes afectadas.

En este contexto, el objetivo de este estudio es determinar la influencia causal y las interdependencias entre factores biomédicos y clínicos asociados al desarrollo del síndrome de Hamman post parto vaginal. A través del análisis de datos médicos y la aplicación de herramientas avanzadas de modelado, se espera contribuir al conocimiento de esta afección y proporcionar información útil para su diagnóstico temprano y tratamiento adecuado.

2. Métodos

2.1 Preliminares en neutrosofía

Definición 1 [18] Sea X un espacio de puntos con elementos genéricos en X denotados por x . Un conjunto neutrosófico de un solo valor (SVNS) A en X se caracteriza por la función de pertenencia de verdad $T_A(x)$, la función de pertenencia de indeterminación $I_A(x)$ y la función de pertenencia de falsedad $F_A(x)$. Entonces, un SVNS A puede ser denotado por $A = \{x, T_A(x), I_A(x), F_A(x) \mid x \in X\}$, donde $T_A(x), I_A(x), F_A(x) \in [0, 1]$ para cada punto x en X . Por tanto, la suma de $T_A(x), I_A(x)$ y $F_A(x)$ satisface la condición $0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3$. [19]

Definición 2 ([20]) Sea $E_k = (T_k, I_k, F_k)$ un número neutrosófico definido para la calificación del k -ésimo tomador de decisiones. Entonces, el peso del k -ésimo tomador de decisiones se puede escribir como:

$$\psi_k = \frac{1 - \sqrt{[(1 - T_k(x))^2 + (I_k(x))^2 + (F(x))^2]/3}}{\sum_{k=1}^p \sqrt{[(1 - T_k(x))^2 + (I_k(x))^2 + (F(x))^2]/3}} \tag{1}$$

Para lograr una solución favorable, la toma de decisiones en grupo es importante en cualquier proceso de toma de decisiones. En el proceso de toma de decisiones del grupo, todas las evaluaciones de los tomadores de decisiones individuales deben agregarse a una matriz de decisión neutrosófica agregada. Esto se puede hacer empleando el operador de agregación de promedio ponderado neutrosófico de valor único (SVNWA) propuesto por [21].

Definición 3 ([21]) Sea $D^k = (d_{ij}^k)_{m \times n}$ la matriz de decisión neutrosófica de valor único del k -ésimo tomador de decisiones y $\psi = (\psi_1 \psi_2, \dots, \psi_p)^T$ el vector de peso del tomador de decisiones tal que cada $\psi_k \in [0,1]$, $D = (d_{ij})_{m \times n}$ donde:

$$d_{ij} = \langle 1 - \prod_{k=1}^p (1 - T_{ij}^{(p)})^{\psi_k}, \prod_{k=1}^p (I_{ij}^{(p)})^{\psi_k}, \prod_{k=1}^p (F_{ij}^{(p)})^{\psi_k} \rangle \tag{2}$$

Definición 4 ([20], [22]) La desneutrosófización de SVNS \tilde{N} se puede definir como un proceso de mapeo de \tilde{N} en una sola salida nítida $f: \tilde{N} \rightarrow \psi^*$ para $x \in X$. Si \tilde{N} es un conjunto discreto entonces el vector de tétradas $\tilde{N} = \{(x | T_{\tilde{N}}(x), I_{\tilde{N}}(x), F_{\tilde{N}}(x)) | x \in X\}$ se reduce a una sola cantidad escalar $\psi^* \in X$ por desneutrosófización. La cantidad escalar obtenida $\psi^* \in X$ representa mejor la distribución agregada de tres grados de pertenencia del elemento neutrosófico $T_{\tilde{N}}(x), I_{\tilde{N}}(x), F_{\tilde{N}}(x)$. Por lo tanto, la desneutrosófización se puede obtener de la siguiente manera:

$$\psi^* = 1 - \sqrt{[(1 - T_k(x))^2 + (I_k(x))^2 + (F(x))^2]/3} \tag{3}$$

El proceso de toma de decisiones suele basarse en el uso del lenguaje natural, específicamente mediante lo que se denominan *variables lingüísticas*. Estas variables representan palabras o expresiones comunes dentro de la comunicación humana, actuando como una herramienta accesible para que los responsables de decisiones plasmen sus valoraciones. Por ejemplo, la evaluación de criterios puede manifestarse a través de términos como *muy influyente (VI)*, *influyente (I)*, *poco influyente (LI)* o *sin influencia (NI)*, entre otros. Estas escalas lingüísticas pueden convertirse numéricamente en Conjuntos Neutrosóficos de Valor Single (SVNS, por sus siglas en inglés), tal como se ilustra en la Tabla 1. Este enfoque facilita la traducción de juicios cualitativos en modelos cuantitativos, optimizando el análisis en contextos complejos.

Tabla 1: Variable lingüística y números neutrosóficos de valor único (SVNNs).

Valor	Variable Lingüística	SVNNs
0	Sin influencia/ No importante	(0.1, 0.8, 0.9)
1	Baja influencia/importante	(0.35, 0.6, 0.7)
2	Influencia media/importante	(0.5, 0.4, 0.45)
3	Alta influencia/importante	(0.8, 0.2, 0.15)
4	Muy alta influencia/importante	(0.9, 0.1, 0.1)

Fuente:[20]

2.2 Metodo Dematel - SVNS

El método DEMATEL fue creado en 1972 por Fontela y Gabus en el *Battelle Memorial Institute* (Centro de Investigación de Ginebra). Esta técnica permite examinar las interacciones y dependencias entre los elementos de un sistema complejo —como componentes, variables o atributos— con el fin de determinar cuáles son clave y analizar sus relaciones causa-efecto mediante un diagrama de influencias. Su principal aplicación se da en la toma de decisiones multicriterio, donde ayuda a desentrañar las conexiones entre distintos factores de decisión en escenarios complejos. [17,29]

En su versión neutrosófica, DEMATEL sigue una serie de pasos estructurados, los cuales se describen brevemente a continuación y se detallan ampliamente en [17].

Paso 1: Selección de factores críticos: Los elementos a evaluar se identifican mediante técnicas de recolección de información definiendo así el alcance del análisis.

Paso 2: Asignación de pesos a expertos: Dado que los especialistas consultados pueden tener distintos niveles de experiencia o conocimiento, su influencia en la decisión se pondera mediante variables lingüísticas. Estas se transforman en (SVNN) usando la ecuación (1) para cuantificar su juicio.

Paso 3: Evaluación de influencias entre factores: Los expertos realizan comparaciones pareadas entre los factores, asignando puntuaciones basadas en una escala lingüística (Tabla 1). Estas valoraciones se convierten en matrices individuales neutrosóficas (SVNN), reflejando su percepción de las relaciones causa-efecto.

Paso 4: Construcción de la matriz de relación directa: Las matrices neutrosóficas individuales se agregan y se transforman en valores numéricos exactos (*desneutroficación*) aplicando las ecuaciones (2) y (3). El resultado es una matriz de relación directa inicial en términos nítidos.

Paso 5: Análisis de relaciones causa-efecto: A partir de la matriz agregada (A), se calcula la matriz de relación total (T) mediante las ecuaciones (4)-(6). Esto permite visualizar las interdependencias entre factores y clasificarlos como causantes o receptores de influencia dentro del sistema.

$$D=A*S \quad (4)$$

Donde

$$S = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (5)$$

y

$$T=D*(I-D)^{-1} \quad (6)$$

I es la matriz identidad.

Los valores t_{ij} dentro de la matriz T representan tanto la influencia directa como indirecta que el elemento correspondiente a la fila i ejerce sobre el elemento de la columna j . La interdependencia indirecta surge cuando un elemento i afecta a otro elemento j mediante su interacción con otros componentes del sistema, es decir, a través de relaciones intermedias. Estas influencias indirectas se hacen evidentes al calcular potencias sucesivas de la matriz X , lo que permite capturar las interacciones complejas y acumulativas dentro del sistema.

Paso 6: Obtención del Diagrama Causal Prominencia-Relación:

1. Se parte del cálculo de los vectores R y C . El vector R se obtiene sumando los valores de cada fila de la matriz T , lo que representa la influencia total emitida por el elemento i sobre los demás. El vector C resulta de sumar los valores de cada columna de T , reflejando la influencia total recibida por el elemento j desde los otros componentes del sistema.

2. Definición de los ejes del diagrama causal:

- Eje horizontal (Prominencia, $R+C$): Este vector determina la importancia relativa de cada elemento en el sistema. Un valor alto de $R+C$ indica que el elemento es altamente prominente, lo que puede deberse a tres posibles situaciones:
 - i. El elemento ejerce una gran influencia sobre otros.
 - ii. El elemento recibe una gran influencia de otros.
 - iii. El elemento tanto influye como es influido de manera equilibrada, resultando en una suma elevada.

Por el contrario, un valor bajo de $R+C$ sugiere que el elemento tiene poca relevancia en el sistema, ya que su influencia emitida y recibida son ambas reducidas.
- Eje vertical (Relación, $R-C$): Este vector cuantifica el balance neto de influencia de cada elemento:
 - i. Si $R-C > 0$, el elemento actúa principalmente como causa (o factor impulsor), ya que su influencia emitida supera a la recibida.
 - ii. Si $R-C < 0$, el elemento funciona como efecto (o receptor), pues es más influenciado que influyente.

3. Construcción del mapa de relaciones:

Graficando los pares ($R+C$, $R-C$) para cada elemento, se genera un diagrama causal que permite visualizar la prominencia (importancia global) en el eje horizontal y la naturaleza causal (influnciador o influenciado) en el eje vertical. Este mapa facilita la identificación de elementos clave y su rol dentro de la estructura del sistema. [23]

3. Resultados

La investigación se orientó hacia el análisis de las relaciones causales entre los factores asociados al síndrome de Hamman posparto. La selección de factores de riesgo se fundamentó en una revisión sistemática de 43 estudios publicados entre 2000-2025 en bases indexadas (PubMed, SciELO, LILACS), utilizando criterios PRISMA adaptados. En tal caso, se reportan 10 factores con frecuencias reportadas significativas en la literatura. Estos factores son:

1. Primigestación
2. Duración del segundo período expulsivo >60 minutos
3. Aplicación de maniobra de Valsalva intensa
4. Macrosomía fetal $\geq 4,000$ g
5. Índice de masa materna >25 kg/m²
6. Presencia de enfisema subcutáneo cervical
7. Edad materna avanzada (≥ 35 años)

8. Parto instrumentado (fórceps o ventosa)
9. Antecedentes de asma o enfermedad pulmonar obstructiva crónica
10. Analgésia epidural durante el trabajo de parto

Para la recolección de datos cualitativos, se conformó un panel de 8 expertos en obstetricia y neumología con experiencia promedio de 14.3 años en atención posparto. Cada participante evaluó las relaciones causales entre los factores mediante la escala neutrosótica triangular llevada a términos lingüísticos que se presentó en la Tabla 1.

Las evaluaciones realizadas por los expertos se recogen en tablas de doble entrada como las que se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 2. Las evaluaciones lingüísticas corresponden a SVNN que son transformados, posteriormente mediante las ecuaciones 2 y 3 para obtener la matriz de interdependencia directa inicial.

Tabla 2: Evaluación de los factores analizados realizada por el experto 1.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
F1	BI	NI	NI	MAI	NI	I	NI	BI	BI	I
F2	NI	NI	BI	NI	I	NI	BI	AI	NI	MAI
F3	NI	NI	NI	BI	I	NI	NI	NI	NI	MAI
F4	I	I	BI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	BI
F5	NI	NI	MAI	BI	NI	NI	NI	NI	NI	BI
F6	BI	I	MAI	NI	NI	I	NI	BI	NI	NI
F7	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	MAI
F8	NI	NI	NI	NI	NI	NI	BI	NI	NI	AI
F9	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI
F10	NI	BI	NI	NI	NI	NI	NI	BI	I	MAI

La Tabla 3 presenta la matriz de interdependencia directa inicial (A), donde las relaciones entre factores se cuantifican mediante valores numéricos derivados de las evaluaciones realizadas. En este análisis, se considera que todos los decisores poseen igual peso relativo, lo que implica que sus juicios contribuyen de manera equitativa a la construcción de la matriz.

Tabla 3: Matriz de directa inicial.

$$A = \begin{pmatrix} 0.0000 & 0.2428 & 0.4584 & 0.2428 & 0.5691 & 0.7183 & 0.5278 & 0.3782 & 0.6403 & 0.2933 \\ 0.2933 & 0.0000 & 0.3326 & 0.4584 & 0.2428 & 0.2428 & 0.6403 & 0.2428 & 0.8485 & 0.5055 \\ 0.2428 & 0.2428 & 0.0000 & 0.7770 & 0.2428 & 0.3782 & 0.2428 & 0.2428 & 0.8485 & 0.2428 \\ 0.3782 & 0.5482 & 0.5318 & 0.0000 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.3782 & 0.2428 \\ 0.8485 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.0000 & 0.7162 & 0.2428 & 0.3621 & 0.2933 & 0.2428 \\ 0.8485 & 0.5482 & 0.4857 & 0.2428 & 0.4033 & 0.0000 & 0.4857 & 0.2428 & 0.3621 & 0.2428 \\ 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.0000 & 0.2428 & 0.8220 & 0.2428 \\ 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.3326 & 0.2428 & 0.2428 & 0.0000 & 0.8220 & 0.5055 \\ 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.0000 & 0.2428 \\ 0.2428 & 0.4347 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.2428 & 0.5988 & 0.7128 & 0.8220 & 0.0000 \end{pmatrix}$$

La matriz normalizada (D) se deriva de la matriz de interdependencia directa aplicando las ecuaciones (4) y (5), obteniéndose la matriz que se presenta en la Tabla 4. Esta transformación garantiza que los valores de la matriz se encuentren en un rango estandarizado, lo que permite comparaciones y operaciones matriciales consistentes en análisis posteriores.

Tabla 4: Matriz de valores normalizados.
$$D = \begin{pmatrix} 0 & 0.0596 & 0.1126 & 0.0596 & 0.1398 & 0.1764 & 0.1296 & 0.0929 & 0.1573 & 0.0721 \\ 0.0721 & 0 & 0.0817 & 0.1126 & 0.0596 & 0.0596 & 0.1573 & 0.0596 & 0.2084 & 0.1242 \\ 0.0596 & 0.0596 & 0 & 0.1909 & 0.0596 & 0.0929 & 0.0596 & 0.0596 & 0.2084 & 0.0596 \\ 0.0929 & 0.1346 & 0.1306 & 0 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0929 & 0.0596 \\ 0.2084 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0 & 0.1759 & 0.0596 & 0.0889 & 0.0721 & 0.0596 \\ 0.2084 & 0.1346 & 0.1193 & 0.0596 & 0.0991 & 0 & 0.1193 & 0.0596 & 0.0889 & 0.0596 \\ 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0 & 0.0596 & 0.2019 & 0.0596 \\ 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0817 & 0.0596 & 0.0596 & 0 & 0.2019 & 0.1242 \\ 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0 & 0.0596 \\ 0.0596 & 0.1068 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.0596 & 0.1471 & 0.1751 & 0.2019 & 0 \end{pmatrix}$$

Mediante la aplicación de la Ecuación 6, se calculó la matriz total de relaciones (T), la cual integra tanto las influencias directas como indirectas entre los factores analizados (Tabla 5).

Tabla 5: Matriz total de relaciones directas e indirectas.
$$T = \begin{pmatrix} 0.38 & 0.42 & 0.45 & 0.31 & 0.32 & 0.2 & 0.28 & 0.35 & 0.29 & 0.27 \\ 0.43 & 0.47 & 0.5 & 0.34 & 0.35 & 0.22 & 0.3 & 0.37 & 0.31 & 0.29 \\ 0.46 & 0.51 & 0.54 & 0.37 & 0.38 & 0.24 & 0.32 & 0.4 & 0.33 & 0.31 \\ 0.31 & 0.35 & 0.37 & 0.25 & 0.26 & 0.16 & 0.22 & 0.27 & 0.23 & 0.21 \\ 0.32 & 0.36 & 0.38 & 0.26 & 0.27 & 0.17 & 0.23 & 0.28 & 0.24 & 0.22 \\ 0.2 & 0.22 & 0.23 & 0.16 & 0.17 & 0.11 & 0.14 & 0.17 & 0.15 & 0.14 \\ 0.28 & 0.31 & 0.33 & 0.22 & 0.23 & 0.15 & 0.2 & 0.25 & 0.21 & 0.19 \\ 0.35 & 0.38 & 0.41 & 0.28 & 0.29 & 0.18 & 0.25 & 0.31 & 0.26 & 0.24 \\ 0.29 & 0.32 & 0.34 & 0.23 & 0.24 & 0.15 & 0.21 & 0.26 & 0.22 & 0.2 \\ 0.27 & 0.3 & 0.32 & 0.22 & 0.22 & 0.14 & 0.19 & 0.24 & 0.2 & 0.19 \end{pmatrix}$$

A partir de la matriz total de relaciones T , se calcularon los vectores R y C , así como los indicadores de prominencia y de relación neta, cuyos valores se presentan en la Tabla 6. Estos resultados permitieron construir el diagrama causal (Figura 1), donde:

Tabla 6: Indicadores de prominencia y relación.

Factores evaluados	Ri	Ci	Ri+Ci (Prominencia)	Ri-Ci (Influencia)
1. Primigestación	3.82	2.15	5.97	1.67
2. Duración del segundo período expulsivo >60 minutos	4.21	3.76	7.97	0.45
3. Aplicación de maniobra de Valsalva intensa	4.56	3.98	8.54	0.58
4. Macrosomía fetal $\geq 4,000g$	3.12	3.45	6.57	-0.33
5. Índice de masa materna $>25 \text{ kg/m}^2$	3.24	2.87	6.11	0.37
6. Presencia de enfisema subcutáneo cervical	1.98	4.67	6.65	-2.69
7. Edad materna avanzada (≥ 35 años)	2.76	2.34	5.1	0.42
8. Parto instrumentado (fórceps o ventosa)	3.45	3.21	6.66	0.24

Factores evaluados	Ri	Ci	Ri+Ci (Prominencia)	Ri-Ci (Influencia)
9. Antecedentes de asma o EPOC	2.89	2.56	5.45	0.33
10. Analgésia epidural durante el trabajo de parto	2.67	3.71	6.38	-1.04

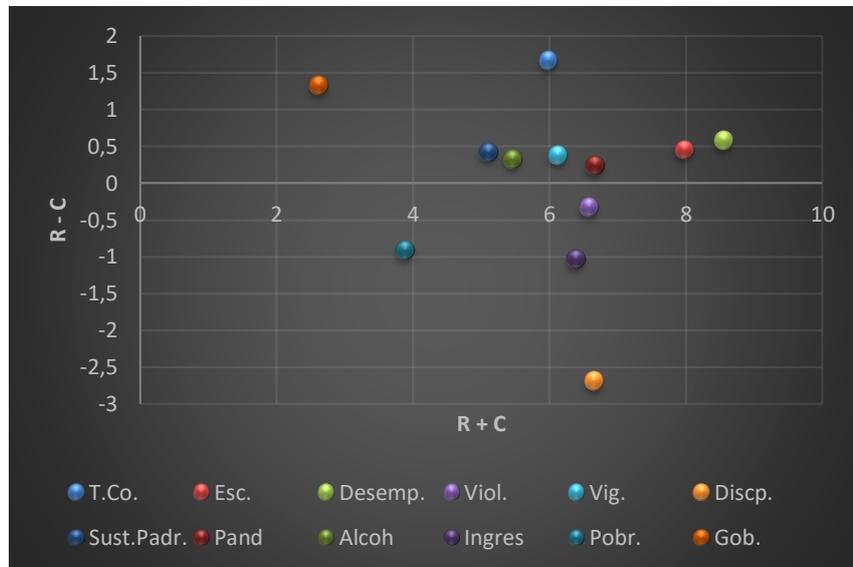


Figura 1. Diagrama causal resultado del método aplicado

El análisis realizado reveló patrones interesantes en cuanto a las relaciones causales entre los factores de riesgo del síndrome de Hamman posparto. La aplicación de la maniobra de Valsalva intensa y la duración prolongada del segundo período expulsivo emergieron como los factores más prominentes, sugiriendo que tienen un impacto significativo en el sistema general. Estos factores no solo influyen fuertemente en otros, sino que también reciben influencia considerable, lo que indica su papel central en la red de interacciones.

La primigestación destacó como el factor con mayor influencia neta, actuando principalmente como una causa o impulsor en el desarrollo del síndrome. Esto sugiere que las mujeres en su primer embarazo podrían ser más susceptibles a desarrollar esta complicación, posiblemente debido a factores fisiológicos o de manejo del parto específicos de este grupo.

En contraste, la presencia de enfisema subcutáneo cervical mostró la relación más negativa, indicando que es principalmente un efecto o resultado de otros factores. Esto refuerza su papel como un signo clínico importante más que como un factor causal directo. Factores como la macrosomía fetal y la analgesia epidural también aparecieron como efectos netos, sugiriendo que, aunque contribuyen al riesgo, podrían ser más bien consecuencias de otros factores o decisiones de manejo obstétrico.

Es interesante notar que factores como la edad materna avanzada y los antecedentes de asma o EPOC, aunque relevantes, muestran una prominencia menor en comparación con factores más directamente relacionados con el proceso de parto. Esto podría indicar que, si bien son importantes para la evaluación del riesgo individual, su influencia en el desarrollo inmediato del síndrome podría ser menos directa.

Estos resultados subrayan la complejidad de las interacciones entre los factores de riesgo y sugieren áreas clave para la prevención y el manejo clínico del síndrome de Hamman posparto, enfatizando la importancia de un enfoque integral en la atención obstétrica.

4. Discusión

El estudio realizado demostró la utilidad del enfoque neutrosófico para manejar la incertidumbre inherente a las valoraciones de especialistas en problemas médicos complejos. Al modelar las evaluaciones lingüísticas como conjuntos neutrosóficos y transformarlas en relaciones cuantificables, se pudo capturar no solo la intensidad de las interacciones entre factores, sino también la ambigüedad en cuanto a su percepción. Esto resultó clave para identificar relaciones no lineales que métodos otros tradicionales podrían haber pasado por alto.

Los resultados obtenidos revelaron que los factores con mayor prominencia (maniobra de Valsalva intensa y duración prolongada del segundo período expulsivo) actuaban como nodos centrales en la red causal. Su doble rol—como influenciadores y receptores—solo fue evidente al considerar las interdependencias indirectas que la lógica

neutrosófica ayuda a desentrañar. La primigestación emergió como un factor netamente causal, un elemento que coincide con la literatura sobre fisiopatología del parto en primíparas, pero que aquí se cuantificó mediante su posición en el diagrama R-C. [24,30]

El comportamiento de variables como el enfisema subcutáneo cervical resultó particularmente ilustrativo. Su clasificación como efecto neto validó lo reportado en estudios clínicos, donde se le considera un marcador más que un desencadenante [25]. Sin embargo, el análisis neutrosófico añadió valor al precisar cómo otros factores convergen hacia este desenlace, algo menos evidente en aproximaciones cualitativas.

La menor prominencia de otros factores como la edad materna avanzada o los antecedentes respiratorios no implicó irrelevancia, sino que reflejó su papel como variables contextuales. Aquí, la integración con métodos multicriterio permitió distinguir entre factores de riesgo primarios y condicionantes, algo crítico para priorizar intervenciones. [31,32]

Esta aproximación metodológica mostró ventajas claras: evitó reducir las valoraciones de los expertos a escalas numéricas rígidas, incorporó la ambigüedad como parte estructural del modelo, y generó resultados interpretables clínicamente. Quedó evidenciado que, en problemas médicos multifactoriales, la combinación de lógica neutrosófica y análisis mediante métodos de decisiones multicriterios ofrece una vía robusta para transformar juicios subjetivos hacia mapas de acción concretos.

5. Conclusión

A partir de la realización de este estudio se pudo determinar las relaciones causales entre los factores asociados al síndrome de Hamman posparto. Mediante la integración del método DEMATEL con lógica neutrosófica fue posible manejar la incertidumbre en las valoraciones clínicas y la identificación de interacciones entre las variables. Los resultados obtenidos mostraron que la maniobra de Valsalva intensa y la duración prolongada del segundo período expulsivo actuaron como nodos centrales, con influencia bidireccional en el sistema, mientras que la primigestación se confirmó como un factor causal predominante. Esto proporcionó una comprensión más detallada de los mecanismos subyacentes al síndrome.

La aplicación de herramientas multicriterio junto con la neutrosofía permitió diferenciar entre factores causales y efectos secundarios, algo difícil de lograr con análisis convencionales. Se evidenció, además, que el enfisema subcutáneo cervical, la macrosomía fetal y la analgesia epidural funcionaron principalmente como consecuencias de otros factores, no como causas directas. Por otro lado, variables como la edad materna avanzada o los antecedentes respiratorios tuvieron un papel menos determinante en la aparición inmediata del síndrome. Estos resultados respaldan la necesidad de priorizar intervenciones durante el trabajo de parto, especialmente en primíparas.

La investigación demostró la utilidad de los métodos de decisión multicriterio para traducir juicios clínicos en modelos accionables. Se sugiere validar estos resultados en cohortes prospectivas y explorar la aplicación de este marco analítico en otras complicaciones obstétricas.

Referencias

- [1] M. Lazo, R. Clavijo, and C. Zunino, "Síndrome de Hamman. A propósito de un caso," *Arch. Pediatr. Urug.*, vol. 93, no. 1, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.31134/ap.93.1.6>.
- [2] J. Baez-Herrera, "Síndrome de Hamman," *Rev. la Soc. Peru. Med. Interna*, vol. 37, no. 1, pp. 35–37, 2024, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/620603316.pdf>.
- [3] C. J. Peña-Vega, R. Buitrón-García, B. Zavala-Barrios, and R. Aguirre-García, "Síndrome de Hamman (neumomediastino) posparto. Síntesis de la bibliografía y reporte de caso," *Ginecol. Obstet. Mex.*, vol. 91, no. 3, pp. 197–209, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.24245/gom.v91i3.3711>.
- [4] M. F. Ochoa-Ariza, J. L. Trejos-Caballero, C. M. Parra-Gelves, M. E. Camargo-Lozada, and M. A. Laguado-Nieto, "Síndrome de Hamman en una adolescente con crisis asmática," *Med. Interna México*, vol. 37, no. 3, pp. 438–442, 2021, [Online]. Available: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=100180>.
- [5] C. A. A. Mallen, L. H. Calvo, P. T. Español, and F. L. López, "Síndrome de hamman: Causa atípica de un dolor torácico," *Atalaya Médica Turo.*, no. 21, pp. 53–57, 2021, [Online]. Available: <https://atalayamedica.es/ojs/index.php/atalaya/article/view/327>.
- [6] M. A. Bolívar-Rodríguez, J. C. Martínez-Nava, A. Pamanes-Lozano, M. A. Cázarez-Aguilar, V. E. Quiroga-Arias, and A. Bolívar-Corona, "Barotrauma y ventilación mecánica en pacientes críticos COVID-19," *Neumol. Cir. Torax*, vol. 80, no. 1, pp. 62–67, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.35366/99457>.
- [7] N. Jimidar, P. Lauwers, E. Govaerts, and M. Claeys, "The clicking chest: what exactly did Hamman hear? A case report of a left-sided pneumothorax," *Eur. Hear. Journal-Case Reports*, vol. 4, no. 6, pp. 1–5, 2020, [Online]. Available: <https://repository.uantwerpen.be/desktop/irua>.
- [8] M. C. Lazo González, R. Clavijo Rodríguez, and C. E. Zunino Pérez, "Síndrome de Hamman: a propósito de un caso,"

- Arch. pediatr. Urug*, vol. 93, no. 1, pp. e304–e304, 2022, [Online]. Available: <https://pesquisa.bvsalud.org/gim/resource/ru/biblio-1383645>.
- [9] O. A. Guerrero, J. E. J. Carrera, and C. O. B. Villa, “Tratamiento del insulinoma. Nuevo modelo de decisión,” *Neutrosophic Comput. Mach. Learn. ISSN 2574-1101*, vol. 22, pp. 293–300, 2022, [Online]. Available: <http://fs.unm.edu/NCML2/index.php/112/article/view/235>.
- [10] F. del R. L. López, V. A. S. Ortiz, and R. G. L. Torres, “Método multicriterio para la evaluación del grado de ansiedad durante la atención odontológica,” *Rev. Asoc. Latinoam. Ciencias Neutrosóficas. ISSN 2574-1101*, vol. 25, pp. 67–76, 2023, [Online]. Available: <http://fs.unm.edu/NCML2/index.php/112/article/view/290>.
- [11] M. U. Farooq and M. Saqlain, “The selection of LASER as surgical instrument in medical using neutrosophic soft set with generalized fuzzy TOPSIS, WSM and WPM along with MATLAB coding,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 40, no. 1, p. 3, 2021, [Online]. Available: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1756&context=nss_journal.
- [12] M. F. S. Salgado, J. P. C. Pardo, and T. H. C. Palacios, “Application of the Neutrosophic AHP Method for the Development of a Training Project on the Adoption Process in Ecuador,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 37, no. 1, p. 48, 2020, [Online]. Available: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1696&context=nss_journal.
- [13] D. V. B. Ledesma, J. D. O. Miranda, and M. E. D. C. Zapata, “Análisis estadístico neutrosófico sobre la psicoprofilaxis obstétrica en la efectividad del parto de la gestante,” *Neutrosophic Comput. Mach. Learn. ISSN 2574-1101*, vol. 26, pp. 31–39, 2023, [Online]. Available: <http://fs.unm.edu/NCML2/index.php/112/article/view/301>.
- [14] A. M. G. Novillo, D. C. F. Villena, J. A.-R. S. Arro, and K. M. L. Veintimilla, “Optimization of dental restorations through immediate dentin sealing based on multi-criteria decision methods,” *Salud, Cienc. y Tecnol. Conf.*, vol. 3, p. 1111, 2024, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9872618>.
- [15] R. E. A. Chacón, E. L. Revelo, and A. R. Plascencia, “Comparación de estrés laboral entre enfermeros y médicos,” *Rev. Cuba. Investig. Biomédicas*, vol. 43, 2024, [Online]. Available: <https://revibiomedica.sld.cu/index.php/ibi/article/view/3468>.
- [16] R. Tan and W. Zhang, “Multiple attribute decision making method based on DEMATEL and fuzzy distance of trapezoidal fuzzy neutrosophic numbers and its application in typhoon disaster evaluation,” *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 39, no. 3, pp. 3413–3439, 2020. [Online]. Available: <https://content.iospress.com/articles/journal-of-intelligent-and-fuzzy-systems/ifs191758>
- [17] L. M. Chávez, O. F. S. Montoya, and D. V. G. Mayorga, “DEMATEL NEUTROSÓFICO APLICADO AL ESTUDIO DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPROMISO EXTRA CONTRACTUAL DEL ESTADO ECUATORIANO. Infinite Study.,” *Investig. OPERACIONAL*, vol. 41, no. 5, pp. 622–628, 2020.
- [18] J. L. Salmeron and F. Smarandache, “Redesigning Decision Matrix Method with an indeterminacy-based inference process. Multispace and Multistructure,” *Neutrosophic Transdiscipl. (100 Collect. Pap. Sci.)*, vol. 4, p. 151, 2010, [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=nK3dBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA151&dq=Redesigning+Decision+Matrix+Method+with+an+indeterminacy-based+inference+process.+Multispace+and+Multistructure&ots=CN7AEMuj16&sig=YaKfucgGz4_VmICnR8W_dqbG9oE.
- [19] D. Xu, X. Wei, H. Ding, and H. Bin, “A new method based on PROMETHEE and TODIM for multi-attribute decision-making with single-valued neutrosophic sets,” *Mathematics*, vol. 8, no. 10, p. 1816, 2020, [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2227-7390/8/10/1816>.
- [20] P. Biswas, S. Pramanik, and B. C. Giri, “TOPSIS method for multi-attribute group decision-making under single-valued neutrosophic environment,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 27, no. 3, pp. 727–737, 2016, [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-015-1891-2>.
- [21] J. Zou, Y. Deng, Y. Hu, and G. Lin, *Measure distance between neutrosophic sets: An evidential approach*. Infinite Study, 2018.
- [22] S. Pramanik, R. Mallick, and A. Dasgupta, “Contributions of selected indian researchers to multi attribute decision making in neutrosophic environment: an overview,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 20, pp. 109–130, 2018, [Online]. Available: https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=w-aaDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA109&dq=Contributions+of+selected+indian+researchers+to+multi+attribut e+decision+making+in+neutrosophic+environment:+an+overview&ots=E_InNNCZMi&sig=vITxMgnfpvVjwKv-ZepoTd-LjBg.
- [23] D. Vujanović, V. Momčilović, N. Bojović, and V. Papić, “Evaluation of vehicle fleet maintenance management indicators by application of DEMATEL and ANP,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 12, pp. 10552–10563, 2012, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417412004228>.
- [24] E. G. S. Namicela, W. B. C. Bereche, and P. A. V. Rentería, “Complicaciones obstétricas en adolescentes primigestas

- con infección de vías urinarias,” *Rev. Conecta Lib. ISSN 2661-6904*, vol. 5, no. 2, pp. 62–71, 2021, [Online]. Available: <https://revistaitsl.litslibertad.edu.ec/index.php/ITSL/article/view/241>.
- [25] C. de los Ángeles Pérez Marrero and L. A. Vázquez Pérez, “Neumomediastino espontáneo, presentación de tres casos clínicos,” *Actual. Medica*, vol. 109, no. 818, pp. 39–44, 2024, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.15568/am.2024.818.cc01>.
- [26] 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
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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
- [31] Vázquez, 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.
- [32] 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 22, 2025