

FORTHCOMING NML03B52-3-24-01

# APLICACIÓN DE LA NEUTROALGEBRA EN EL ANÁLISIS DE FACTORES DETERMINANTES DEL ESTADO DEFICIENTE DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN SOCIAL EN ECUADOR

Segundo Heriberto Granja Huacon\*, Carlos Alfredo Medina Riofrio\*\*<sup>1</sup>

\* Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Babahoyo

\*\* Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Sede Puyo

**ABSTRACT.**

This study aimed to employ NeutroAlgebra theory for identifying the factors with the greatest impact on the deficient state of Ecuador's social rehabilitation system. To achieve this, a survey was conducted with a group of 56 expert officials in the field, hailing from the Babahoyo canton. Neutrosophic logic based on SVNS was applied to implement the DEMATEL method. The utilization of this method helped establish causal relationships among the initial elements, directing interview efforts towards the causal elements of the main issues. Through the application of NeutroAlgebra, it was determined that, while the overall results were favorable, there were unfavorable responses regarding the budget for various activities, the rise in crime in the country, and the absence of a robust prison reform. The attained results fulfilled the objectives and showcased the practical utility of neutrosophic logic in addressing real-life problems.

**KEYWORDS:** neutroalgebra, social rehabilitation, Ecuador**MSC:** 03B52, 91B74, 91C99**RESUMEN**

Este estudio tuvo como objetivo emplear la teoría de NeutroÁlgebra para identificar los factores con mayor impacto en el estado deficiente del sistema de rehabilitación social de Ecuador. Para lograr esto, se realizó una encuesta a un grupo de 56 funcionarios expertos en el campo, procedentes del cantón Babahoyo. Se aplicó la lógica neutrosófica basada en SVNS para implementar el método DEMATEL. El uso de este método ayudó a establecer relaciones causales entre los elementos iniciales, dirigiendo los esfuerzos de la entrevista hacia los elementos causales de los problemas principales. A través de la aplicación de NeutroÁlgebra, se determinó que, si bien los resultados generales fueron favorables, hubo respuestas desfavorables con respecto al presupuesto para diversas actividades, el aumento de la delincuencia en el país y la ausencia de una reforma penitenciaria robusta. Los resultados obtenidos cumplieron con los objetivos y demostraron la utilidad práctica de la lógica neutrosófica para abordar problemas de la vida real.

**PALABRAS CLAVE:** neutroálgebra, rehabilitación social, Ecuador**1. INTRODUCCIÓN**

Ante el avance de diversos campos de investigación y la necesidad de moldear problemas cada vez más complejos y adecuados a la vida real, la necesidad de suponer criterios y alternativas más variadas se ha hecho más imperante en todos los campos científicos. La presencia de datos o mediciones inciertas han generado una gran necesidad de establecer mecanismos efectivos para la medición de los datos e incluso han dado lugar a nuevas teorías y campos de medición. [14]

En este escenario, se dieron lugar una serie de nuevas teorías, surgidas con el objetivo de dar una solución factible a tales inconvenientes. En 1995, Smarandache extendió el paradoxismo (basado en los opuestos) a una nueva rama de la filosofía llamada neutrosofía. Esta nueva ciencia se basaba en el estudio de relación entre opuestos y su neutralidad. La Neutrosofía es también una extensión de la Dialéctica (caracterizada por la dinámica de los opuestos en la filosofía), y de la Filosofía china antigua Yin-Yang (basada también en los opuestos: masculino/femenino, bueno/malo, cielo/tierra, etc.) que se fundó y estudió dos milenios y medio antes que la Dialéctica de Hegel y Marx. [2]

Tras los aportes iniciales realizados por Smarandache, se han sucedido varias nociones neutrosóficas que proporcionan un marco matemático razonable para tratar con información indeterminada e inconsistente [8]. Dada su importancia y

<sup>1</sup> Email: [up.carlosmedina@uniandes.edu.ec](mailto:up.carlosmedina@uniandes.edu.ec), <https://orcid.org/0000-0001-5335-6340>

aplicabilidad en múltiples formas de la ciencia, la ingeniería y la sociedad, diversos especialistas han ampliado el modelo neutrosófico para extender su aplicación práctica [3-15]. Estas teorías han demostrado múltiples aplicaciones en ingeniería, informática, trabajo administrativo, investigación médica, biología, psicología, ciencias sociales, etc. Ejemplo de ello constituye el aporte realizado por [18-4], que extendieron el método de análisis relacional gris al entorno neutrosófico y lo aplicaron a la selección del sector de inversión. Por otro lado, [2-7] desarrolló el método TODIM utilizando operadores de peso agregado. Por otro lado, el estudio realizado por [19] mostró un nuevo enfoque para problemas de toma de decisiones grupales de atributos múltiples al entorno neutrosófico de un solo valor. De esta manera, se emplearon para catalogar las alternativas en función de determinados criterios. Esto permitió expresar la opinión de expertos en función de la información proporcionada.

En 2019, debido a la necesidad de reflejar con mayor precisión la realidad, Smarandache introdujo por primera vez las leyes NeutroDefined y AntiDefined, así como el NeutroAxiom y AntiAxiom., inspirados en la Neutrosología, dando nacimiento a nuevos campos de investigación llamados NeutroStructures y AntiStructures [10]. En tal sentido, se dio inicio a la consideración de un axioma algebraico clásico dado, definiendo, por primera vez la tripleta neutrosófica correspondiente a este Axioma, (Axioma, NeutroAxioma, AntiAxioma). [8]

En tal sentido, mientras que el Axioma clásico es 100% o totalmente verdadero, el NeutroAxioma es parcialmente verdadero y parcialmente falso, lo que implica que los grados de verdad y falsedad son ambos  $> 0$ ; mientras que el AntiAxioma es 100% o totalmente falso [23]. De esta manera, una estructura algebraica (clásica) es una estructura algebraica que trata solo con axiomas (clásicos), que son totalmente ciertos. Entonces, una Estructura NeutroAlgebraica es una estructura algebraica que tiene al menos un NeutroAxioma y ningún AntiAxioma. Mientras que una Estructura AntiAlgebraica es una estructura algebraica que tiene al menos un AntiAxioma. [7-9]

Estas Estructuras NeutroAlgebraicas y AntiAlgebraicas fueron introducidas, tras haber sido ignoradas por las estructuras algebraicas clásicas. Dado que, en las aplicaciones de la vida cotidiana, las leyes que las caracterizan no se encuentran necesariamente bien definidas o conocidas, y las propiedades/teorías, que las rigen pueden ser solo parcialmente ciertas y parcialmente falsas (mezcla de verdad y falsedad). [21]

Constitucionalmente, el sistema de rehabilitación social del Ecuador tiene como finalidad la rehabilitación integral de las personas sentenciadas penalmente para reinsertarlas en la sociedad. Asimismo, se busca la protección de las personas privadas de libertad y la garantía de sus derechos. En tal sentido, se establece que el sistema tendrá como prioridad el desarrollo de las capacidades de las personas sentenciadas penalmente para ejercer sus derechos y cumplir sus responsabilidades al recuperar la libertad.

Sin embargo, la mayoría de los actuales Centros de Rehabilitación Social no brindan las condiciones adecuadas requeridas por las personas privadas de libertad, para gozar de una vida digna. Tampoco ofrecen la infraestructura idónea para llevar a cabo programas de rehabilitación y de atención prioritaria en el lapso de estancia en los centros de privación de libertad. El sistema de corrupción que opera en el sistema penitenciario ecuatoriano, la sobrepoblación, el hacinamiento, las malas condiciones de vida, entre otros factores, ha provocado que mantener el control dentro de las cárceles sea cada vez más difícil.

En tal sentido, el presente trabajo tiene como objetivo la utilización de la teoría de NeutroAlgebra para la determinación de los factores de mayor incidencia en el deficiente estado del sistema de rehabilitación social del Ecuador. Para llevar a cabo el presente estudio, se decide el empleo y aplicación de la encuesta a un conjunto de funcionarios expertos en el campo perteneciente al cantón de Babahoyo.

Para llevar a cabo el presente estudio, se toma en cuenta el empleo de la escala lingüística, que es una herramienta, más natural para el ser humano, y que permite expresar de forma más fiable lo que se quiere decir. Para ello, se emplean algunas nociones de NeutroAlgebra. Como método complementario para la toma de decisiones, se emplea el método DEMATEL, en su variante neutrosófica. Este método constituye una valiosa herramienta para clasificar las relaciones entre los objetos a comprar, lo que le confiere gran efectividad para el análisis y clasificación de datos, en el proceso de toma de decisiones, etc. [12-13]

## 2. PRELIMINARES

Definición 1: Sea  $X$  un espacio no vacío dado (o simplemente un conjunto) incluido en un universo de discurso  $U$ . Sea  $\langle A \rangle$  un ítem (concepto, atributo, idea, proposición, teoría, etc.) definido en el conjunto  $X$ . A través del proceso de neutrosificación, dividimos el conjunto  $X$  en tres regiones [dos opuestas  $\langle A \rangle$  y  $\langle \text{anti}A \rangle$ , y una neutral (indeterminada)  $\langle \text{neut}A \rangle$  entre ellas], regiones que pueden o no ser disjuntas - dependiendo de la aplicación, pero son exhaustivas (su unión iguala al espacio completo).

Una NeutroÁlgebra es un álgebra que tiene al menos una NeutroOperación o un NeutroAxioma (axioma que es verdadero para algunos elementos, indeterminado para otros elementos y falso para otros elementos).

La NeutroÁlgebra es una generalización de la Álgebra Parcial, que es un álgebra que tiene al menos una Operación Parcial, mientras que todos sus Axiomas son totalmente verdaderos (axiomas clásicos).

Definición 2: Una función  $f: X \rightarrow Y$  se llama Función Parcial si está bien definida para algunos elementos en  $X$ , e indefinida para todos los demás elementos en  $X$ . Por lo tanto, existen algunos elementos  $a \in X$  tales que  $f(a) \in Y$  (bien definidos), y para todos los demás elementos  $b \in X$  tenemos que  $f(b)$  es indefinido. [5-16].

Definición 3: Una función  $f: X \rightarrow Y$  se llama Neutro Función si tiene elementos en  $X$  para los cuales la función está bien definida {grado de verdad (T)}, elementos en  $X$  para los cuales la función es indeterminada {grado de indeterminación (I)}, y elementos en  $X$  para los cuales la función está definida externamente {grado de falsedad (F)}, donde  $T, I, F \in [0,1]$ , con  $(T, I, F) \neq (1, 0, 0)$  que representa la Función (Total), y  $(T, I, F) \neq (0, 0, 1)$  que representa la Anti Función.

Clasificación de Funciones

- i) Función (Clásica), que es una función bien definida para todos los elementos en su dominio de definición.
- ii) Neutro Función, que es una función parcialmente bien definida, parcialmente indeterminada y parcialmente definida externamente en su dominio de definición.
- iii) Anti Función, que es una función definida externamente para todos los elementos en su dominio de definición.

Definición 4: Una Estructura Algebraica (clásica) (o Álgebra) es un conjunto no vacío  $A$  dotado de algunas operaciones (funciones) totalmente bien definidas sobre  $A$ , y satisfaciendo algunos axiomas (clásicos) totalmente verdaderos - según el Álgebra Universal. [5].

Definición 5: Un Álgebra Parcial (clásica) es un álgebra definida en un conjunto no vacío  $PA$  que está dotado de algunas operaciones parciales (o funciones parciales: parcialmente bien definidas y parcialmente indefinidas). Mientras que los axiomas (leyes) definidos en un Álgebra Parcial son todos totalmente (100%) verdaderos [5].

Definición 6: Un NeutroAxioma (o Axioma Neutrosófico) definido en un conjunto no vacío es un axioma que es verdadero para algún conjunto de elementos {grado de verdad (T)}, indeterminado para otro conjunto de elementos {grado de indeterminación (I)}, o falso para el otro conjunto de elementos {grado de falsedad (F)}, donde  $T, I, F \in [0,1]$ , con  $(T, I, F) \neq (1, 0, 0)$  que representa el Axioma (clásico), y  $(T, I, F) \neq (0, 0, 1)$  que representa el AntiAxioma [5].

Clasificación de Álgebras [9]:

Un Álgebra (clásica) es un conjunto no vacío  $CA$  que está dotado de operaciones totales (o funciones totales, es decir, verdaderas para todos los elementos del conjunto) y Axiomas (clásicos) (también verdaderos para todos los elementos del conjunto).

Una NeutroÁlgebra (o Estructura NeutroAlgebraica) es un conjunto no vacío  $NA$  que está dotado de: al menos una NeutroOperación (o NeutroFunción), o un NeutroAxioma que se refiere al conjunto (operaciones parciales-, neutro- o totales-).

Una AntiÁlgebra (o Estructura AntiAlgebraica) es un conjunto no vacío  $AA$  que está dotado de al menos una AntiOperación (o AntiFunción) o al menos un AntiAxioma.

Adicionalmente, la función PROSPECTOR se define en el sistema experto MYCIN de la siguiente manera; es un mapeo de  $[-1, 1]^2 \rightarrow [-1, 1]$  con fórmula [1]:

$$P(x, y) = (x + y) / (1 + xy) \quad (1)$$

Esta función es una uniforma [11], con elemento neutral 0, cumpliendo conmutatividad, asociatividad y monotonía.

Aquí respetamos la condición de que  $P(-1, 1)$  y  $P(1, -1)$  son indefinidos.

De lo contrario, para conveniencia  $P(x, y)$  se extiende a  $\bar{P}(x, y)$  tal que:

$$P(x, y) = \bar{P}(x, y) \text{ para todos } (x, y) \in [-1, 1]^2 \setminus \{(-1, 1), (1, -1)\},$$

$$\bar{P}(-1, 1) = \bar{P}(1, -1) = \text{indefinido},$$

$$\bar{P}(\text{indefinido}, \text{indefinido}) = \text{indefinido}.$$

$$\bar{P}(\text{indefinido}, x) = \bar{P}(x, \text{indefinido}) = \begin{cases} \text{indefinido}, & \text{si } x > 0 \\ x, & \text{si } x \leq 0 \end{cases}$$

Definición 7: Sea  $S$  un conjunto finito definido como  $S = \{(x, y): x, y \in \{k/10, \text{indefinido}\}, k \in \mathbb{Z} \cap [-10, 10]\}$ .

El operador  $\odot$  se define para cada  $(x, y) \in S$ , de manera que [6]:

Si  $\bar{P}(x, y)$  no es indefinido, entonces  $x \odot y = \text{redondear}(P(x, y) * 10) / 10$ , donde redondear es la función que devuelve el entero más cercano al argumento.

Si  $\bar{P}(x, y)$  es indefinido, entonces  $x \odot y = \text{indefinido}$ .

Entonces  $\odot$  es una NeutroÁlgebra finita. Esto es porque  $\odot$  es conmutativa y asociativa para el subconjunto de elementos de  $S$  sin ningún componente indefinido, pero no es asociativa de lo contrario.

Ej., si  $a = -0.9$ ,  $b = 0.8$ ,  $c = \text{indefinido}$ , entonces  $a \odot (b \odot c) = a$  y  $(a \odot b) \odot c = -0.4 \neq a$ , por lo tanto, la asociatividad es un NeutroAxioma.

La función redondear se usa para garantizar que  $\odot$  sea un operador interno.

En este caso, se hace empleo de las tablas de Caley para generar datos en la misma escala utilizada en los datos de entrada. Para ello se realiza la multiplicación por 10 de estos elementos, de manera que se pueda obtener valores de entrada en un rango de entre -10 a 10. La tabla 1 muestra los resultados de esta operación.

$x \odot y$	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	I
-9	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-7	-7	-5	-4	0	10
-8	-10	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-8	-7	-7	-6	-5	-4	-2	0	4	10
-7	-10	-10	-10	-9	-9	-9	-9	-8	-8	-7	-7	-7	-6	-6	-5	-4	-3	-2	0	2	5	10
-6	-10	-10	-9	-9	-9	-8	-8	-8	-7	-7	-6	-6	-5	-5	-4	-3	-1	0	2	4	7	10
-5	-10	-10	-9	-9	-8	-8	-8	-7	-6	-6	-5	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	3	5	7	10
-4	-10	-10	-9	-9	-8	-8	-7	-6	-6	-5	-4	-4	-3	-2	-1	0	1	3	4	6	8	10
-3	-10	-9	-9	-8	-8	-7	-6	-6	-5	-4	-3	-3	-2	-1	0	1	2	4	5	7	8	10
-2	-10	-9	-9	-8	-7	-6	-6	-5	-4	-3	-2	-2	-1	0	1	2	3	5	6	7	9	10
-1	-10	-9	-8	-7	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	-1	0	1	2	3	4	5	6	8	9	10
I	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
0	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-10	-9	-8	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	I	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10
2	-10	-9	-7	-6	-5	-3	-2	-1	0	1	2	I	3	4	5	6	6	7	8	9	9	10
3	-10	-8	-7	-5	-4	-2	-1	0	1	2	3	I	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10
4	-10	-8	-6	-4	-3	-1	0	1	2	3	4	I	5	6	6	7	8	8	9	9	10	10
5	-10	-7	-5	-3	-1	0	1	2	3	4	5	I	6	6	7	8	8	8	9	9	10	10
6	-10	-7	-4	-2	0	1	3	4	5	5	6	I	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10
7	-10	-5	-2	0	2	3	4	5	6	6	7	I	7	8	8	9	9	9	9	10	10	10
8	-10	-4	0	2	4	5	6	7	7	8	8	I	8	9	9	9	9	9	10	10	10	10
9	-10	0	4	5	7	7	8	8	9	9	9	I	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10
10	I	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	I	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabla 1: Tabla de Cayley de multiplicar por 10.  $\odot$

## 2.1 DEMATEL neutrosófico mediante conjunto neutrosófico de valor único (SVNS)

**Definición 8:** Sea  $X$  un espacio de puntos (objetos) con elementos genéricos en  $X$  denotados por  $x$ . Un conjunto neutrosófico de valor único (SVNS)  $A$  en  $X$  se caracteriza por la función de pertenencia de verdad  $TA(x)$ , la función de pertenencia de indeterminación  $IA(x)$  y la función de pertenencia de falsedad  $FA(x)$ . Entonces, un SVNS  $A$  puede ser denotado por  $A = \{x, TA(x), IA(x), FA(x) \mid x \in X\}$ , donde  $TA(x), IA(x), FA(x) \in [0,1]$  para cada punto  $x$  en  $X$ .

Por lo tanto, la suma de  $TA(x)$ ,  $IA(x)$  y  $FA(x)$  satisface la condición  $0 \leq TA(x) + IA(x) + FA(x) \leq 3$ .

**Definición 9:** Sea  $E_k = (T_k, I_k, F_k)$  un número neutrosófico definido para la calificación del  $k$ -ésimo decisor. Entonces, el peso del  $k$ -ésimo decisor puede escribirse como:

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

Además, para alcanzar 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 en grupo, todas las evaluaciones de los decisores individuales deben agregarse a una matriz de decisión neutrosófica agregada. Esto puede hacerse empleando el operador de agregación de promedio ponderado neutrosófico de valor único (SVNWA) propuesto por Ye [20-24].

**Definición 10** [16]: Sea  $D(k) = (d_{ij}(k))_{m \times n}$  la matriz de decisión neutrosófica de valor único del  $k$ -ésimo decisor y  $\psi = (\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_p)^T$  sea el vector de peso del decisor tal que cada  $\psi_k \in [0, 1]$ ,  $D = (d_{ij})_{m \times n}$  donde

$$d_{ij} = 1 - \prod_{k=1}^p \left( (1 - T_{ij}^p)_k^{\psi_k}, \prod_{k=1}^p (I_{ij}^p)_k^{\psi_k}, \prod_{k=1}^p (F_{ij}^p)_k^{\psi_k} \right) \quad (3)$$

**Definición 11** ([19], [22]): La deneutrosificación de SVNS  $\tilde{N}$  puede definirse como un proceso de mapeo de  $\tilde{N}$  a una única 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 única cantidad escalar  $\psi^* \in X$  mediante deneutrosificación. La cantidad escalar obtenida  $\psi^* \in X$  representa mejor la distribución agregada de tres grados de membresía del elemento neutrosófico  $T\tilde{N}(x), I\tilde{N}(x), F\tilde{N}(x)$ . Por lo tanto, la deneutrosificación se puede obtener de la siguiente manera.

$$\psi^* = 1 - \sqrt{\frac{[(1 - T_{k(x)})^2 + (I_{k(x)})^2 + (F_{k(x)})^2]}{3}} \quad (4)$$

La toma de decisiones normalmente implica el lenguaje humano o lo que comúnmente se denomina variables lingüísticas. Una variable lingüística simplemente representa palabras o términos utilizados en el lenguaje humano. Por lo tanto, este enfoque de variable lingüística es una forma conveniente para que los decisores expresen sus evaluaciones. Las calificaciones de los criterios se pueden expresar utilizando variables lingüísticas como muy influyente (VI), influyente (I), poco influyente (LI), no influyente (NI), etc. Las variables lingüísticas se pueden transformar en SVNSs como se muestra en la Tabla 1.

Integer	Linguistic variable	SVNNs
0	Sin influencia / No importante	(0.1, 0.8, 0.9)
1	Baja influencia / Poco importante	(0.35, 0.6, 0.7)
2	Influencia media / Importante	(0.5, 0.4, 0.45)
3	Alta influencia / Muy importante	(0.8, 0.2, 0.15)
4	Influencia muy alta / Crítica	(0.9, 0.1, 0.1)

**Tabla 2:** Variable lingüística y números neutrosóficos de valor único (SVNNs) [6]

Para llevar a cabo el método DEMATEL en su variante neutrosófica, se siguen los pasos que se exponen a continuación [17]:

- Identificar los elementos de estudio: Mediante la aplicación de entrevistas semiestructuradas a una población de interés y la tormenta de ideas, se determina un conjunto de factores influyentes en el tema objeto de estudio. Posteriormente se pide a los expertos que evalúen la influencia directa entre los factores mediante comparaciones pareadas, utilizando la puntuación que se muestra en la tabla 2.
- Determinar la importancia relativa de los expertos: El grupo de expertos tiene sus propios valores de importancia basados en su nivel de experiencia y conocimiento en el problema de decisión. Por lo tanto, el peso de cada decisor puede ser diferente al de otros decisores. El peso de cada decisor se considera con variables lingüísticas y se transmite en SVNN para, posteriormente identificarse mediante la ecuación (2).
- Convertir las evaluaciones lingüísticas dadas por los expertos en SVNN: A partir de las matrices enteras nítidas individuales obtenidas de las evaluaciones de los expertos, se construyen las matrices neutrosóficas individuales de los tomadores de decisiones de acuerdo lo señalado en la tabla 2.
- Obtener la matriz de relación directa inicial: Para obtener la matriz de relación directa inicial que está en forma de números nítidos, las matrices neutrosóficas de los tomadores de decisiones individuales deben agregarse y desneutrofizarse utilizando la ecuación (3) y (4) respectivamente.
- Identificar las relaciones de causa-efecto entre factores utilizando el método DEMATEL: Con base en la matriz de relación directa agregada  $A$  obtenida en el paso 4, la matriz de relación total  $T$  se puede calcular fácilmente usando las ecuaciones (5-7) como se muestra a continuación:

$$D = A * S \quad (5)$$

Donde

$$S = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij}} \quad (6)$$

$$T = D * (I - D)^{-1} \quad (7)$$

donde I es la matriz identidad. A partir de esto se construye el diagrama de relación causa-efecto ( $ri + ci, ri - ci$ ).

- Analizar el diagrama de relación causa-efecto. El ( $ri - ci$ ) indica la importancia de cada factor mientras que ( $ri + ci$ ) es el grupo de causa o efecto neto. El ( $ri + ci$ ) se llama "Prominencia" y que mide el grado de rol central que juega el factor o criterio dentro del sistema.

## 2.2 Metodología

En consulta con los especialistas y mediante a la revisión de la base documental, se seleccionan como elementos de estudio los que se muestran a continuación:

- Incremento de la criminalidad en el país y la corrupción dentro de las cárceles
- Hacinamiento
- Deficiente estado de las instalaciones y el equipamiento en los centros de privación de libertad
- La falta de personal de seguridad
- La inexistencia de una buena reforma carcelaria
- El debilitamiento de la institucionalidad del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos
- Deficiente presupuesto para llevar a cabo los diferentes proyectos
- Las reformas más restrictivas en el Código Orgánico Integral Penal (COIP) de 2014

Teniendo en cuenta estos elementos, se procede a la utilización del método DEMATEL, con el fin de determinar las posibles relaciones de causalidad entre estos elementos. El resultado de este análisis permite la focalización de la entrevista a realizar en los temas de mayor impacto y relevancia que son los verdaderos causantes de la crisis, de acuerdo con los expertos seleccionados. En este análisis intervienen 5 especialistas que conforman el grupo de trabajo. Posteriormente, se procede a la aplicación de un cuestionario dirigido a una muestra de funcionarios con años de experiencia en el campo de estudio. La entrevista realizada a estos funcionarios se lleva a cabo mediante el uso de variables lingüísticas. Estas permiten una mejor comprensión de los datos, así como una evaluación más certera por parte de los participantes.

Se selecciona, de manera selectiva, a un grupo de 56 funcionarios para que den respuesta a las preguntas elaboradas para el estudio. A cada uno de ellos se les pide que califiquen las afirmaciones mostradas empleando una escala positiva, hasta 10 puntos si tienen una opinión favorable sobre el tema analizado. Por el contrario, si tienen una opinión desfavorable deben realizar la calificación en una escala de -10 a -1.

Se denota  $v_{ij}$ , ( $i = 1, 2, \dots, 56$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ ) la evaluación del  $i$ -ésimo funcionario sobre el  $j$ -ésimo aspecto.

Posteriormente se realiza el cálculo de  $\bar{v}_i = \left( \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^+}{n^+}, \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^0}{n^0}, \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^-}{n^-} \right)$ , donde las respuestas positivas del  $i$ -ésimo fun-

cionario sobre los  $j$ -ésimos aspectos, son respuestas neutrales, por lo tanto  $\frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^0}{n^0} = 0$ , y  $v_{ij}^-$  son respuestas negativas. Por otro lado,  $n^+$ ,  $n^0$  y  $n^-$  son los números de respuestas positivas, respuestas neutras y respuestas negativas, respectivamente. Este nuevo tratamiento garantiza una mayor precisión en los resultados que el simple cálculo de la media aritmética.

Posteriormente, se procede al cálculo de  $\hat{v}_i = \text{round} \left( \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^+}{n^+} \right) \odot \text{round} \left( \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^-}{n^-} \right)$ . En caso de que ambos,

$\text{round} \left( \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^+}{n^+} \right) = 10$  y  $\text{round} \left( \frac{\sum_{j=1}^n v_{ij}^-}{n^-} \right) = -10$ , se define que  $\hat{v}_i = -10$ .

El proceso de decisión se realiza en dos situaciones diferentes:

1. Si menos del 30% de los encuestados arrojan resultados contradictorios para cada  $j$  fija, es decir, si hay 30 pares o menos de valores 0, estos valores se eliminan para la agregación.  $(-10, 10)(10, -10)$
2. De lo contrario, el  $j$ -ésimo aspecto se evalúa como "indefinido" y se debe revisar con más detalle por qué existe tal contradicción.

Cuando existe el primer caso, la agregación de  $\hat{v}_i$  se calcula utilizando  $\odot$

## 3. RESULTADOS

La aplicación del método propuesto permitió determinar la existencia de causalidad entre los elementos inicialmente evaluados. De esta manera, la Tabla 3, muestra un resumen de los principales elementos de interés que arrojaron luz sobre este tema.

Elementos de consulta	Ri+Ci	Ri-Ci
El debilitamiento de la institucionalidad del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos	8.572	0.106
Deficiente presupuesto para llevar a cabo los diferentes proyectos	6.501	0.037
Hacinamiento	6.86	-0.254
Las reformas más restrictivas en el Código Orgánico Integral Penal (COIP) de 2014	6.739	-0.021
Incremento de la criminalidad en el país y la corrupción dentro de las cárceles	7.449	0.979
La inexistencia de una buena reforma carcelaria	8.38	0.612
Deficiente estado de las instalaciones y el equipamiento en los centros de privación de libertad	6.094	-1.246
La falta de personal de seguridad	5.329	-0.213

**Tabla 3:** Resultados de la aplicación del método DEMATEL. **Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar, el debilitamiento de la institucionalidad del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, el deficiente presupuesto para llevar a cabo los diferentes proyectos, el incremento de la criminalidad en el país y la corrupción dentro de las cárceles, así como la inexistencia de una buena reforma carcelaria constituyen los elementos de mayor relación dentro del sistema estudiado. Los valores de relación indican una fuerte causalidad, lo que significa que estos cuatro elementos se asociaron con mayor fuerza a elementos causantes de los demás.

Teniendo en cuenta lo anteriormente analizado, la entrevista a aplicar a los funcionarios muestreados se vio más ampliamente influenciada por estos 4 elementos. De esta manera se pudo ahondar con mayor fuerza en elementos causales cuya eliminación o minimización es de mayor impacto. En tal sentido, cada uno de los cuatro elementos fue desglosado en 5 preguntas que buscan determinar el nivel de estado, de acuerdo con los entrevistados. La Tabla 4 muestra un resumen de los principales elementos obtenidos, tras realizar la recopilación y tabulación de la información.

Puntuaciones					
Elementos	Preguntas	[-10, -5)	[-5, 0)	[0, 5)	[5, 10]
<i>El debilitamiento de la institucionalidad del Ministerio de Justicia y Derechos Humanos</i>	1	15	15	12	14
	2	13	11	21	11
	3	10	18	20	8
	4	6	10	21	19
	5	15	9	18	14
<i>Deficiente presupuesto para llevar a cabo los diferentes proyectos</i>	6	21	11	12	12
	7	23	9	21	3
	8	19	14	19	4
	9	17	20	15	4
	10	8	15	13	20
<i>Incremento de la criminalidad en el país y la corrupción dentro de las cárceles</i>	11	24	12	15	5
	12	16	21	19	0
	13	16	14	20	6
	14	16	24	8	8
	15	24	12	15	5
<i>La inexistencia de una buena reforma carcelaria</i>	16	26	25	2	3

17	22	19	6	9
18	16	15	10	15
19	19	17	11	9
20	17	12	25	2

**Tabla 4:** Datos agrupados sobre los resultados de la encuesta aplicada. **Fuente:** Elaboración propia

Los resultados del análisis mostraron un valor medio de 5. Aunque de manera general, estos resultados se muestran favorables, se observaron respuestas desfavorables en los relacionado con el presupuesto para llevar a cabo las diferentes actividades, el incremento de la criminalidad en el país, así como la inexistencia de una buena reforma carcelaria. En este sentido, se señalaron con mayor fuerza la falta de voluntad política y social para el desarrollo de estrategias oportunas y eficientes para el despliegue de actividades y medidas capaces de promover cambios generales en la política carcelaria del país. Asimismo, se señaló que no se llevan a cabo acciones efectivas para la minimización de los factores de pobreza, marginación social y violencia, principales precursores de la criminalidad en el país. Finalmente, la deficiente planificación de los presupuestos estatales lleva, a la caída continua de algunos de los centros de rehabilitación, a condiciones muy desfavorecidas.

#### 4.CONCLUSIONES

Las Estructuras NeutroAlgebraicas y las Estructuras Antialgebraicas fueron introducidas por el autor como un importante mecanismo de aplicación en la vida cotidiana, las ciencias y la ingeniería. El presente estudio permitió utilizar la teoría de NeutroAlgebra para determinar los factores de mayor incidencia en el deficiente estado del sistema de rehabilitación social del Ecuador. Se llevaron a cabo métodos de generación de ideas con el apoyo de expertos para obtener los elementos a evaluar enfocados en el cantón Babahoyo. Se aplicó la lógica neutrosófica basada en SVNS para aplicar el método DEMATEL. La aplicación de este método permitió determinar las relaciones de causalidad entre los elementos iniciales y focalizar los esfuerzos de la entrevista a realizar en elementos causales de los principales problemas. Mediante el empleo de NeutroAlgebra se logró aplicar y determinar que, aunque de manera general, los resultados resultaron favorables, se observaron respuestas desfavorables en lo relacionado con el presupuesto para llevar a cabo las diferentes actividades, el incremento de la criminalidad en el país, así como la inexistencia de una buena reforma carcelaria.

#### REFERENCIAS

- [1] A. K. Tsadiras and K. G. Margaritis, "The MYCIN certainty factor handling function as uninorm operator and its use as a threshold function in artificial neurons," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 93, no. 3, pp. 263–274, 1998.
- [2] A. S. S. L. F. Autran, M. Gomes, and K. R. Vijayalakshmi, "Assessment of MCDM problems by TODIM using aggregated weights," *Neutrosophic sets Syst.*, vol. 35, no. 1, pp. 78–99, 2020.
- [3] Alex Gabriel Lara Jácome, Elizabeth Mayorga Aldaz, Miguel Ramos Argilagos, Darvin Manuel Ramírez Guerra. "Neutrosophic Perspectives in Healthcare Decision-Making: Navigating Complexity with Ethics, Information, and Collaboration", *Neutrosophic Sets and Systems*, Vol. 62, 121-128, 2023. DOI: [10.5281/zenodo.10436848](https://doi.org/10.5281/zenodo.10436848)
- [4] Ariel José Romero Fernández, Iruma Alfonso González, Gustavo Adolfo Álvarez Gómez. "Escala lingüística neutrosófica para la evaluación de la formación de competencias investigativas en los docentes de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes", *Neutrosophic Computing and Machine Learning*, Vol. 30, 255-264, 2023. DOI: <https://zenodo.org/record/10426493>
- [5] B. De Baets and J. Fodor, "Van Melle's combining function in MYCIN is a representable uninorm: An alternative proof," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 104, no. 1, pp. 133–136, 1999.
- [6] D. S. Jiménez, M. E. R. Ubilla, and N. B. Hernández, "NeutroAlgebra for the evaluation of barriers to migrants' access in Primary Health Care in Chile based on PROSPECTOR function," *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 39, pp. 1–9, 2021.
- [7] Emma Arroyo Lalama, Dayanara Burbano Pijal, Marianela Buitrón Recalde, Darvin Manuel Ramírez Guerra. "Neutrosophic Evaluation of Dental Implant Success Rates, *Neutrosophic Sets and Systems*", Vol. 62, 104-111, 2023. DOI: [10.5281/zenodo.10436841](https://doi.org/10.5281/zenodo.10436841)
- [8] F. Smarandache and M. Ali, "Neutrosophic Triplet Group (revisited)," *Neutrosophic sets Syst.*, vol. 26, no. 1, p. 2, 2019.
- [9] F. Smarandache, "Introduction to NeutroAlgebraic Structures and AntiAlgebraic Structures (revisited).,"



- Neutrosophic Sets Syst., vol. 31, pp. 1–17, 2020.
- [10] F. Smarandache, “NeutroGeometry & AntiGeometry are alternatives and generalizations of the Non-Euclidean Geometries (revisited),” *Neutrosophic Sets Syst.* Vol. 46, 2021, p. 456, 2021.
  - [11] G. Deschrijver and E. E. Kerre, “Uninorms in  $L^*$ -fuzzy set theory,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 148, no. 2, pp. 243–262, 2004.
  - [12] Lyzbeth Alvarez Gómez, Raúl Comas Rodríguez, Jimena Montes De Oca Sánchez, José Felipe Ramírez Pérez. “Neutrosophic Analysis of Supply Chain Resilience”, *Neutrosophic Sets and Systems*, Vol. 62, 112-120, 2023. DOI: [10.5281/zenodo.10436845](https://doi.org/10.5281/zenodo.10436845)
  - [13] 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.
  - [14] M. Grida, R. Mohamed, and A. H. Zaid, “A novel plithogenic MCDM framework for evaluating the performance of IoT based supply chain,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 33, no. 1, pp. 323–341, 2020.
  - [15] M. Mullai and R. Surya, “Neutrosophic Inventory Backorder Problem Using Triangular Neutrosophic Numbers,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 31 SRC-, pp. 148–155, 2020.
  - [16] Marcos Aníbal Lalama Flores, Fernando de Jesús Castro Sánchez, Marcos Stefano Lalama Gavilánez. “La neurosofía en la valoración del uso de wearables y aplicaciones móviles en atletas amateur de gimnasios e importancia en el estilo de vida desde el ámbito clínico”, *Neutrosophic Computing and Machine Learning*, Vol. 30, 265-274, 2023. DOI: <https://zenodo.org/record/10426495b>
  - [17] N. Nabeeh, “A hybrid neutrosophic approach of DEMATEL with AR-DEA in technology selection,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 31, pp. 17–30, 2020.
  - [18] P. Biswas, S. Pramanik, and B. C. Giri, “Entropy based grey relational analysis method for multi-attribute decision making under single valued neutrosophic assessments,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 102–110, 2014.
  - [19] 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, 2016.
  - [20] P. M. M. Arvelo et al., “Neutrosophic model for the analysis of criminal behaviour in Quevedo, Ecuador, from a spatial econometric analysis,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 26, no. Special Issue, pp. 48–53, 2019.
  - [21] S. A. Edalatpanah, “Systems of neutrosophic linear equations,” *Neutrosophic sets Syst.*, vol. 33, no. 1, pp. 92–104, 2020.
  - [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.
  - [23] V. Kandasamy, I. Kandasamy, and F. Smarandache, “NeutroAlgebra of Neutrosophic Triplets using  $\{[Z. sub. n], x\}$ ,” *Neutrosophic Sets Syst.*, vol. 38, pp. 509–524, 2020.
  - [24] Víctor Gustavo Gómez Rodríguez, Abel Stalin Flores Laaz, Noemí Barbara Delgado Álvarez, Alejandro Reigosa Lara, Manuel Roberto Tolozano Benites. “A neutrosophic SERVQUAL model approach to study the quality of teaching support services at a technological institute in Ecuador”, *Neutrosophic Sets and Systems*, Vol. 62, 96-103, 2023. DOI: [10.5281/zenodo.10436834](https://doi.org/10.5281/zenodo.10436834)