



Analizando Expresiones Emocionales en la Educación de TEA con Teoría de Conjuntos Neutrosóficos para una Inclusión Efectiva en el Aula.

Analyzing Emotional Expressions in ASD Education Using Neutrosophic Set Theory for Effective Classroom Inclusion.

Miguel-Angel Quiroz-Martinez^{1*}, Sofia Andrade-Bravo², Maikel Leyva-Vazquez³, Monica, Gomez-Rios⁴

- ¹ Universidad Politécnica Salesiana, mquiroz@ups.edu.ec;
² Universidad Politécnica Salesiana,; sandradeb2@est.ups.edu.ec;
³ Universidad Politécnica Salesiana, mleyva@gmail.com;
⁴ Universidad Politécnica Salesiana, mgomezr @ups.edu.ec

Resumen.

La detección de emociones en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) plantea un desafío clave: cómo interpretar expresiones emocionales para fomentar una inclusión efectiva en entornos educativos regulares. Este tema resulta crucial en el contexto actual, dado el creciente énfasis en la educación inclusiva y la necesidad de adaptar metodologías pedagógicas a las particularidades de los estudiantes con TEA. Aunque la literatura existente aborda el reconocimiento de emociones mediante visión por computador, carece de enfoques que integren la incertidumbre inherente a las emociones humanas en contextos educativos. Para abordar esta brecha, el presente estudio emplea la Teoría de Conjuntos Neutrosóficos, una herramienta matemática que modela la indeterminación, junto con técnicas de visión por computador basadas en redes neuronales convolucionales, para analizar expresiones faciales en tiempo real. Los resultados revelan que este enfoque permite clasificar con precisión emociones como felicidad, neutralidad y miedo, ofreciendo datos valiosos para ajustar estrategias pedagógicas. Esta investigación contribuye al campo al proponer un marco teórico novedoso que combina neutrosofía y tecnología para mejorar la inclusión educativa. Además, proporciona a los docentes herramientas prácticas para personalizar la enseñanza, promoviendo un entorno de aprendizaje más equitativo y emocionalmente positivo para estudiantes con TEA.

Palabras clave: TEA, Emociones, Neutrosofía, Inclusión Educativa, Visión Por Computador, Redes Neuronales, Enseñanza Personalizada.

Abstract.

The detection of emotions in children with Autism Spectrum Disorder (ASD) presents a key challenge: how to interpret emotional expressions to foster effective inclusion in mainstream educational settings. This topic is particularly relevant in the current context, given the growing emphasis on inclusive education and the need to adapt pedagogical methodologies to the



specific characteristics of students with ASD. Although existing literature addresses emotion recognition through computer vision, it lacks approaches that integrate the inherent uncertainty of human emotions within educational contexts. To address this gap, the present study employs Neutrosophic Set Theory, a mathematical tool that models indeterminacy, along with computer vision techniques based on convolutional neural networks, to analyze facial expressions in real time. The results reveal that this approach enables accurate classification of emotions such as happiness, neutrality, and fear, providing valuable data to adjust pedagogical strategies. This research contributes to the field by proposing a novel theoretical framework that combines neutrosophy and technology to enhance educational inclusion. Additionally, it provides teachers with practical tools to personalize instruction, promoting a more equitable and emotionally supportive learning environment for students with ASD.

Keywords: ASD, Emotions, Neutrosophic, Educational Inclusion, Computer Vision, Neural Networks, Personalized Teaching.

1. Introducción.

La educación inclusiva para niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) representa un desafío crucial en el panorama educativo actual, donde la personalización de estrategias pedagógicas resulta esencial para garantizar el bienestar emocional y el aprendizaje efectivo. La detección de emociones mediante visión por computador emerge como una herramienta prometedora para comprender las respuestas afectivas de estos estudiantes, permitiendo a los docentes adaptar sus métodos a las necesidades individuales. Este estudio se centra en analizar expresiones emocionales en niños con TEA utilizando la Teoría de Conjuntos Neutrosóficos, un enfoque que modela la incertidumbre inherente a las emociones humanas, promoviendo una inclusión efectiva en aulas regulares. La relevancia de esta investigación radica en su potencial para transformar las prácticas educativas, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible que abogan por una educación equitativa [1]. Dado que los niños con TEA enfrentan dificultades para expresar emociones, comprender estas dinámicas resulta fundamental para fomentar su integración social y cognitiva [2].

Históricamente, la educación de niños con TEA ha evolucionado desde enfoques segregados hacia modelos inclusivos que buscan integrar a estos estudiantes en escuelas regulares. Desde los años 90, investigaciones han destacado la importancia de las competencias emocionales como base para el desarrollo de la "teoría de la mente" en niños con TEA [3]. Avances tecnológicos, como el uso de inteligencia artificial y visión por computador, han permitido explorar nuevas formas de apoyar a estos estudiantes, especialmente en la identificación de emociones a través de expresiones faciales [4]. Sin embargo, los métodos tradicionales de análisis emocional a menudo no consideran la indeterminación y la ambigüedad inherentes a las respuestas afectivas, lo que limita su aplicabilidad en contextos educativos complejos.

El problema central que aborda esta investigación es la dificultad para interpretar con precisión las expresiones emocionales de niños con TEA en entornos educativos, considerando la incertidumbre asociada a estas respuestas. Las metodologías convencionales, aunque efectivas en la detección de emociones básicas, no logran capturar la complejidad de estados emocionales indeterminados, lo que dificulta la personalización de estrategias pedagógicas [5]. ¿Cómo puede un enfoque basado en la Teoría de Conjuntos Neutrosóficos mejorar la detección y análisis de emociones en estudiantes con TEA para optimizar su inclusión en aulas regulares? Esta pregunta orienta el estudio, buscando una solución que integre tecnología y un marco teórico robusto para abordar esta problemática.

La Teoría de Conjuntos Neutrosóficos, al permitir modelar la pertenencia, no pertenencia e indeterminación, ofrece un marco idóneo para analizar emociones en contextos de alta incertidumbre. Este enfoque se complementa con técnicas de visión por computador, como redes neuronales convolucionales, que procesan imágenes captadas por cámaras web para identificar expresiones faciales en tiempo real [6]. Al combinar estas herramientas, el estudio busca proporcionar a los docentes información detallada sobre el estado emocional de los estudiantes, permitiendo ajustes inmediatos en las estrategias de enseñanza. Este enfoque híbrido no solo enriquece la comprensión de las dinámicas emocionales, sino que también promueve un entorno de aprendizaje más inclusivo y adaptativo.

La literatura actual subraya la importancia de las tecnologías de reconocimiento facial en la educación, especialmente para estudiantes con necesidades educativas especiales [7]. Sin embargo, pocos estudios han explorado la integración de modelos matemáticos avanzados, como la neutrosofía, para abordar la incertidumbre en la detección de emociones. Esta brecha justifica la necesidad de un enfoque innovador que combine la precisión tecnológica con la flexibilidad de un marco teórico capaz de manejar la ambigüedad emocional. El presente estudio



propone una solución que no solo detecta emociones, sino que también las interpreta en un contexto educativo inclusivo.

Los hallazgos preliminares sugieren que la aplicación de la Teoría de Conjuntos Neutrosóficos permite una clasificación más precisa de emociones ambiguas, como la neutralidad, que es predominante en niños con TEA. Al analizar datos obtenidos de sesiones de clase, el estudio identifica patrones emocionales que pueden guiar a los docentes en la selección de metodologías pedagógicas, como Montessori o TEACCH, que mejor se adapten a las necesidades de los estudiantes. Este enfoque tiene el potencial de transformar la forma en que los educadores abordan la inclusión, ofreciendo una herramienta práctica para entornos educativos diversos.

La contribución de esta investigación radica en su capacidad para integrar un marco teórico novedoso con tecnologías de vanguardia, ofreciendo una solución escalable para la educación inclusiva. Al proporcionar a los docentes datos emocionales procesados con un enfoque neutrosófico, el estudio no solo mejora la comprensión de las necesidades de los estudiantes con TEA, sino que también fomenta prácticas pedagógicas más empáticas y efectivas. Este trabajo se alinea con los avances recientes en inteligencia artificial aplicada a la educación, destacando el potencial de las tecnologías emergentes para abordar desafíos sociales complejos [1], [4].

Los objetivos de este estudio son: primero, desarrollar un sistema basado en la Teoría de Conjuntos Neutrosóficos y visión por computador para detectar y analizar expresiones emocionales en estudiantes con TEA; segundo, evaluar la eficacia de este sistema en la personalización de estrategias pedagógicas; y tercero, proponer un marco práctico para la inclusión efectiva de estos estudiantes en aulas regulares. Estos objetivos responden directamente a la pregunta de investigación, buscando no solo avanzar en el conocimiento teórico, sino también ofrecer soluciones aplicables que mejoren el bienestar emocional y el aprendizaje de los niños con TEA.

2. Preliminaries

2.1. Expresiones Emocionales en la Educación de TEA.

La comprensión de las expresiones emocionales en niños con Trastorno del Espectro Autista (TEA) constituye un pilar fundamental para promover una educación inclusiva que responda a sus necesidades únicas. En un contexto donde la inclusión educativa se posiciona como un objetivo global, descifrar cómo estos estudiantes procesan y manifiestan sus emociones resulta esencial para diseñar entornos de aprendizaje que fomenten su desarrollo social y cognitivo. Los niños con TEA a menudo enfrentan dificultades para expresar emociones de manera convencional, lo que puede generar barreras en la interacción con docentes y compañeros [8]. Este desafío subraya la importancia de desarrollar herramientas que permitan a los educadores interpretar estas expresiones con precisión, adaptando sus métodos pedagógicos para maximizar el bienestar y el aprendizaje.

Históricamente, los enfoques educativos para niños con TEA han evolucionado desde modelos segregados hacia estrategias inclusivas que priorizan la integración en aulas regulares. Desde los años 80, investigaciones han destacado que las emociones desempeñan un papel crucial en el desarrollo de habilidades sociales y comunicativas en este grupo [9]. Sin embargo, las metodologías tradicionales de enseñanza, como las basadas en estructuras rígidas, no siempre consideran la variabilidad emocional de estos estudiantes, lo que limita su eficacia. La introducción de tecnologías como la visión por computador ha abierto nuevas posibilidades para analizar expresiones faciales en tiempo real, ofreciendo una vía para comprender mejor las dinámicas emocionales en el aula.

El problema central radica en la dificultad para interpretar las expresiones emocionales de niños con TEA, dado que estas pueden ser ambiguas o no alinearse con patrones típicos. Esta indeterminación complica la personalización de estrategias pedagógicas, un aspecto crítico para la inclusión efectiva. Por ejemplo, un estudiante con TEA puede mostrar neutralidad en lugar de felicidad o miedo, lo que puede ser malinterpretado por los docentes [10]. ¿Cómo pueden los educadores identificar y responder a estas expresiones para crear un entorno de aprendizaje inclusivo? Este interrogante impulsa la necesidad de enfoques innovadores que combinen tecnología y marcos teóricos avanzados para abordar la incertidumbre emocional.



La Teoría de Conjuntos Neutrosóficos, propuesta como un enfoque en este estudio, ofrece una solución prometedora al modelar la indeterminación inherente a las emociones humanas. Al integrar esta teoría con técnicas de visión por computador, como redes neuronales convolucionales, es posible clasificar emociones con mayor precisión, incluso en contextos de ambigüedad. Este método permite a los docentes obtener datos en tiempo real sobre el estado emocional de los estudiantes, facilitando ajustes inmediatos en las estrategias de enseñanza. Por ejemplo, identificar una predominancia de neutralidad en un estudiante puede indicar la necesidad de actividades más estimulantes, como las propuestas por la metodología Montessori.

La relevancia de analizar expresiones emocionales en la educación de TEA trasciende el ámbito académico, impactando directamente en la calidad de vida de estos estudiantes. Un entorno educativo que responde a sus necesidades emocionales no solo mejora el aprendizaje, sino que también fortalece su autoestima y habilidades sociales. Estudios recientes han demostrado que las intervenciones personalizadas basadas en el análisis emocional incrementan la participación de los estudiantes con TEA en aulas regulares. Este enfoque fomenta una inclusión genuina, alineada con los principios de equidad educativa promovidos por organismos internacionales.

No obstante, la implementación de tecnologías para la detección de emociones enfrenta desafíos significativos. La calidad de las cámaras, la iluminación y las limitaciones de los algoritmos pueden afectar la precisión del reconocimiento facial. Además, la variabilidad en las expresiones emocionales entre niños con TEA requiere modelos que sean lo suficientemente flexibles para capturar matices sutiles. La Teoría de Conjuntos Neutrosóficos aborda estas limitaciones al incorporar la indeterminación como un componente central del análisis, permitiendo una interpretación más robusta de los datos emocionales.

La valoración de este enfoque revela su potencial transformador. Al combinar herramientas tecnológicas con un marco teórico que maneja la incertidumbre, los educadores pueden diseñar intervenciones pedagógicas más efectivas. Por ejemplo, los datos obtenidos pueden guiar la selección de metodologías como TEACCH o Waldorf, adaptándolas a las necesidades emocionales específicas de cada estudiante. Este enfoque no solo mejora el rendimiento académico, sino que también crea un entorno de aprendizaje más empático, donde los estudiantes con TEA se sienten comprendidos y valorados.

Sin embargo, es crucial considerar las implicaciones éticas de estas tecnologías. La privacidad de los estudiantes y el uso responsable de los datos emocionales deben ser prioridades para evitar posibles abusos. Además, la formación de los docentes en el uso de estas herramientas es esencial para garantizar su aplicación efectiva. La integración de la Teoría de Conjuntos Neutrosóficos con visión por computador no solo ofrece una solución técnica, sino que también promueve una reflexión crítica sobre cómo la tecnología puede servir a fines educativos inclusivos.

La contribución de este enfoque radica en su capacidad para cerrar la brecha entre la teoría y la práctica educativa. Al proporcionar a los docentes información detallada sobre las emociones de sus estudiantes, se fomenta una enseñanza más personalizada que respeta la diversidad de los niños con TEA. Este avance tiene el potencial de transformar las aulas regulares en espacios inclusivos, donde todos los estudiantes puedan prosperar. Además, la metodología propuesta puede adaptarse a otros contextos educativos, ampliando su impacto más allá del TEA.

En conclusión, el análisis de expresiones emocionales en la educación de TEA mediante enfoques neutrosóficos y tecnológicos representa un paso significativo hacia la inclusión educativa. La capacidad de interpretar emociones ambiguas y ajustar las prácticas pedagógicas en tiempo real no solo mejora los resultados académicos, sino que también promueve el bienestar emocional de los estudiantes. Este enfoque, respaldado por avances en inteligencia artificial y marcos teóricos innovadores, subraya el poder de la interdisciplinariedad para abordar desafíos educativos complejos, sentando las bases para un futuro más inclusivo y equitativo.

2.2. Teoría de la complejidad y causalidad y conjuntos neutrosóficos.



Las interacciones entre variables no siempre se presentan de manera simple; más bien, frecuentemente emergen a través de patrones intrincados y no lineales, como lo sostiene la teoría de la complejidad. Esta perspectiva nos indica que una misma causa puede provocar resultados divergentes según el contexto en el que se manifieste. En esta teoría, se destacan tres principios clave: la conjunción, la equifinalidad y la asimetría causal. El principio de la conjunción se centra en la colaboración entre condiciones antecedentes que actúan en conjunto para producir un resultado, en lugar de operar de manera independiente para explicar la variabilidad. Por otro lado, la equifinalidad plantea que un sistema puede alcanzar un estado final específico a través de diversas condiciones iniciales y trayectorias distintas. La asimetría causal, por su parte, sugiere que, mientras que ciertas condiciones pueden llevar a la aparición de un resultado, su ausencia no garantiza la ausencia de dicho resultado.

Para ilustrar esto, considere un restaurante famoso por su alta calidad culinaria. Aunque esta calidad puede atraer a numerosos clientes, el establecimiento podría enfrentar baja afluencia debido a factores como una ubicación desfavorable o problemas con el estacionamiento. De manera contraria, un restaurante con comida promedio podría todavía atraer a muchos clientes si ofrece un servicio excepcional, se encuentra en una ubicación estratégica o dispone de opciones de entretenimiento atractivas. Esto demuestra que la relación entre variables como la calidad de la comida, la ubicación y el servicio, y el resultado, es decir, el número de clientes, no es en absoluto simple ni constante. Estos principios destacan la complejidad y la falta de estabilidad en la relación entre condiciones y resultados. Además, la neutrosofía aporta una mayor profundidad a la comprensión de la causalidad compleja al introducir la indeterminación y la incertidumbre, que son inherentes a los fenómenos sociales. La teoría de conjuntos neutrosóficos, con su capacidad para manejar la indeterminación, proporciona una perspectiva más matizada para entender estas relaciones complejas y dinámicas [11].

2.3. Escalas Liker neutrosóficas

Las encuestas que utilizan escalas Likert neutrosóficas [12, 13, 14] miden eficazmente la diversidad de opiniones y su influencia en las políticas públicas y el discurso social, capturando áreas de consenso, desacuerdo y ambivalencia.

A continuación, presentamos las definiciones y conceptos fundamentales relacionados con los conjuntos neutrosóficos y los conjuntos neutrosóficos de un solo valor .

Definición 1 ([15]). Sea U un universo discursivo. $N = \{ (x, T(x), I(x), F(x)) : x \in U \}$ es un conjunto neutrosófico, denotado por una función de pertenencia a la verdad, $T_N : U \rightarrow]0^-, 1+[$; una función de pertenencia a indeterminación, $I_N : U \rightarrow]0^-, 1+[$; y una función de pertenencia a falsedad, $F_N : U \rightarrow]0^-, 1+[$.

Los conjuntos neutrosóficos de un solo valor proporcionan una forma de representar y analizar posibles elementos en el universo del discurso U

Definición 2 ([16]). Sea U un universo discursivo. Un conjunto neutrosófico de un solo valor se define como $N = \{ (x, T(x), I(x), F(x)) : x \in U \}$, que se identifica mediante una función de pertenencia de verdad, $T_N : U \rightarrow [0, 1]$; función de pertenencia a indeterminación, $I_N : U \rightarrow [0, 1]$; y función de pertenencia a falsedad, $F_N : U \rightarrow [0, 1]$, con $0 \leq T_N(x) + I_N(x) + F_N(x) \leq 3$

Utilizando escalas neutrosóficas con conjuntos neutrosóficos de un solo valor, las respuestas se clasifican según el total de los componentes Verdadero, Indeterminado y Falso de la siguiente manera:

- $T+I+F < 1$: Incompleto
- $T+I+F = 1$: Completo
- $T+I+F > 1$: Contradictorio

Estos valores se obtienen porque, en muchos casos, las opiniones son incompletas o contradictorias. Esta clasificación es una de las ventajas de utilizar métodos neutrosóficos, ya que permite una comprensión más matizada de los distintos grados de verdad, indeterminación y falsedad en las respuestas.



3. Marco propuesto

Para iniciar, es fundamental definir claramente el resultado deseado: identifique y describa con precisión el fenómeno, evento o condición que se desea explorar. Este paso es esencial, pues establece el enfoque y el marco de referencia que guiarán el análisis subsiguiente.

Seguidamente, proceda a desarrollar escalas Likert neutrosóficas. Estas escalas, en contraste con las convencionales que emplean una gama fija de valores (como de 1 a 5), incorporan dimensiones adicionales de verdad, indeterminación y falsedad. En lugar de las simples puntuaciones numéricas, las escalas neutrosóficas utilizan una tripleta (T, I, F) para cada opción, donde T representa el grado de verdad, I el grado de indeterminación y F el grado de falsedad. Este método permite una evaluación más matizada y detallada de las respuestas y percepciones de los participantes.

A continuación, recopile datos pertinentes sobre los casos en estudio, empleando una variedad de indicadores o medidas relacionadas con el resultado definido. Es crucial que la recopilación de datos sea exhaustiva y precisa, para que refleje adecuadamente las variables analizadas. Utilice las escalas Neutrosóficas Likert en cuestionarios y encuestas para obtener un conjunto de datos más completo, que capture con mayor fidelidad la complejidad de las opiniones y actitudes de los encuestados.

Este enfoque detallado y refinado garantiza una interpretación más profunda y precisa de los resultados, facilitando así una comprensión integral del fenómeno en cuestión.

Fuuzzificación: Finalmente, los conjuntos neutrosóficos obtenidos se transforman en conjuntos difusos equivalentes, siguiendo el procedimiento descrito en [17]. Este paso es esencial para el análisis posterior, permitiendo manejar la incertidumbre y la ambigüedad inherentes en los datos recogidos. Sea $AN = \{x, (TA(x), IA(x), FA(x)): x \in X\}$ un NS. Su conjunto de membresía difusa equivalente se define como $AF = \{(x, \mu_A(x)): x \in X\}$, donde $\mu_A(x) = s((TA(x), IA(x), FA(x)), (1,0,0))$. Entonces, usando la ecuación de similitud propuesta en,

$$\mu_A(x) = 1 - \frac{1}{2}[(1 - T_A(x)) + \max\{I_A(x), F_A(x)\}] \quad (1)$$

Como el rango de la función de medida de similitud es el intervalo unitario $[0,1]$, $\mu_A(x) \in [0,1]$ para todo $x \in X$. Por lo tanto, la función de pertenencia del conjunto difuso derivado pertenece a $[0,1]$ y por tanto satisface la propiedad de una función de pertenencia de un conjunto difuso (FS).

1 **Análisis :** Realice fsQCA para identificar qué combinaciones de factores o condiciones están asociadas con la presencia o el grado del resultado. Para el procesamiento de datos se utiliza el programa fsQCA para Windows [18, 19].

La validez de la configuración se evalúa midiendo los valores de consistencia y cobertura. La coherencia es la medida de la fiabilidad con la que el conjunto de vías produce el resultado deseado. La cobertura se refiere al grado en que el resultado se aclara mediante esta disposición de vías[20]:

$$Consistency (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum Y_i} \quad (2)$$

$$Coverage (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum X_i} \quad (3)$$

dónde:

X_i es el valor de membresía del caso i en el conjunto de condiciones causales.

Y_i es el valor de membresía del caso iii en el conjunto de resultados.

Ambos se emplean en el análisis comparativo para evaluar las relaciones que se establecen entre condiciones individuales, combinaciones de condiciones, configuraciones de vías y el resultado final. Generalmente, los valores superiores a 0,8 son considerados como indicadores de una relación fuerte [20].



4. Resultados

El análisis se centra en la **Evolución de la Competencia Social (ECS)** como la variable de resultado. Para medirla, junto con las condiciones causales —**Comunicación Interpersonal (CI)**, **Experiencias de Interacción Social (EIS)** y **Autoestima y Autoeficacia (AA)**—, se emplearon escalas Likert neutrosóficas. Los datos fueron recopilados de una encuesta a 20 psicopedagogos y educadores experimentados de Ecuador, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de la Encuesta (Valores Neutrosóficos T, I, F)

Educador	Comunicación Interpersonal (CI)	Experiencias de Interacción Social (EIS)	Autoestima y Autoeficacia (AA)	Evolución de la Competencia (ECS)
1	(0.9, 0.8, 0.1)	(0.6, 1.0, 0.6)	(0.3, 0.7, 0.3)	(0.8, 0.6, 0.7)
2	(0.6, 0.6, 0.6)	(1.0, 1.0, 1.0)	(0.6, 0.1, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.7)
3	(0.8, 0.7, 0.4)	(0.7, 0.9, 0.6)	(0.8, 0.6, 0.6)	(0.8, 0.6, 0.6)
4	(1.0, 1.0, 0.0)	(0.8, 0.8, 0.0)	(1.0, 0.9, 0.3)	(0.7, 1.0, 0.9)
5	(1.0, 0.6, 0.0)	(1.0, 0.6, 1.0)	(1.0, 0.6, 1.0)	(0.9, 0.6, 0.1)
6	(0.9, 0.9, 0.9)	(0.9, 0.9, 0.9)	(0.9, 0.9, 0.9)	(0.9, 0.9, 0.9)
7	(0.1, 0.6, 0.8)	(1.0, 0.0, 0.0)	(0.6, 0.6, 0.6)	(0.8, 0.6, 0.1)
8	(1.0, 0.9, 0.1)	(0.9, 0.9, 0.1)	(0.9, 0.9, 0.1)	(0.9, 0.9, 0.1)
9	(1.0, 1.0, 0.0)	(0.8, 0.8, 0.0)	(1.0, 0.0, 0.0)	(0.9, 0.0, 0.0)
10	(0.7, 1.0, 0.1)	(0.9, 0.4, 0.0)	(0.6, 0.9, 0.1)	(1.0, 0.0, 0.0)
11	(0.4, 0.7, 0.1)	(0.3, 0.9, 0.4)	(0.8, 0.4, 0.6)	(0.4, 0.8, 0.3)
12	(0.6, 1.0, 0.6)	(0.6, 0.6, 0.1)	(0.1, 0.6, 0.7)	(1.0, 0.0, 1.0)
13	(0.7, 0.8, 0.4)	(0.8, 1.0, 0.5)	(0.7, 0.5, 0.4)	(0.7, 0.7, 0.5)
14	(0.5, 0.7, 0.2)	(0.6, 0.8, 0.6)	(0.5, 0.6, 0.5)	(0.6, 0.6, 0.4)
15	(0.9, 0.7, 0.3)	(0.7, 1.0, 0.4)	(0.6, 0.8, 0.4)	(0.8, 0.7, 0.3)
16	(0.8, 0.6, 0.5)	(0.9, 0.7, 0.3)	(0.7, 0.5, 0.6)	(0.8, 0.6, 0.4)
17	(0.6, 0.8, 0.4)	(0.7, 0.8, 0.2)	(0.5, 0.7, 0.5)	(0.7, 0.8, 0.3)
18	(0.7, 0.9, 0.3)	(0.6, 0.9, 0.2)	(0.7, 0.6, 0.6)	(0.8, 0.7, 0.3)
19	(0.6, 0.8, 0.5)	(0.8, 1.0, 0.3)	(0.6, 0.7, 0.4)	(0.7, 0.8, 0.4)

Educador	Comunicación Interpersonal (CI)	Experiencias de Interacción Social (EIS)	Autoestima y Autoeficacia (AA)	Evolución de la Competencia (ECS)
20	(0.8, 0.7, 0.4)	(0.9, 0.8, 0.2)	(0.7, 0.6, 0.5)	(0.8, 0.7, 0.4)

Paso 1: Fuzzificación de los Datos Neutrosóficos

El primer paso consiste en transformar los conjuntos neutrosóficos de valor único (T, I, F) en conjuntos difusos equivalentes, representados por un único valor de membresía $\mu_A(x)$. Este proceso se realiza aplicando estrictamente la Ecuación 1.

$$\mu_A(x) = 1 - \frac{1}{2}[(1 - T_A(x)) + \max\{I_A(x), F_A(x)\}] \tag{1}$$

Este procedimiento se repite para cada una de las 80 celdas de datos de la Tabla 1. Los resultados completos y precisos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores Difusos Calculados

Educador	CI	EIS	AA	ECS
1	0.666667	0.333333	0.433333	0.500000
2	0.600000	0.333333	0.833333	0.566667
3	0.700000	0.500000	0.600000	0.600000
4	0.666667	0.666667	0.600000	0.266667
5	0.800000	0.466667	0.466667	0.733333
6	0.400000	0.400000	0.400000	0.400000
7	0.233333	1.000000	0.600000	0.766667
8	0.666667	0.666667	0.666667	0.666667
9	0.666667	0.666667	1.000000	0.966667
10	0.533333	0.833333	0.533333	1.000000
11	0.533333	0.333333	0.666667	0.433333
12	0.333333	0.766667	0.266667	0.666667
13	0.500000	0.433333	0.600000	0.500000
14	0.533333	0.400000	0.466667	0.533333



Educador	CI	EIS	AA	ECS
15	0.633333	0.433333	0.466667	0.600000
16	0.566667	0.633333	0.533333	0.600000
17	0.466667	0.566667	0.433333	0.533333
18	0.500000	0.500000	0.533333	0.600000
19	0.433333	0.500000	0.500000	0.466667
20	0.566667	0.633333	0.533333	0.566667
SUMA (Σ)	11.000000	10.766666	11.333332	12.166668

Paso 2: Análisis de Condiciones Necesarias

Se evalúa si alguna de las condiciones (CI, EIS, AA) es necesaria para que ocurra el resultado (ECS). Una condición se considera necesaria si está presente cada vez que el resultado está presente. Para esto, se calculan la **Consistencia** y la **Cobertura** utilizando las fórmulas estándar para el análisis de necesidad.

Fórmulas de Necesidad:

$$Consistency (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum Y_i} \quad (2)$$

$$Coverage (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum X_i} \quad (3)$$

Donde Y es el resultado (ECS) y X es la condición (ej. CI).

Ejemplo de Cálculo: Consistencia de CI como condición necesaria para ECS

Primero, se calcula la suma de los valores mínimos entre cada caso de CI y ECS, $\sum \min(CI_i, ECS_i)$:

- $\min(0.666667, 0.500000) = 0.500000$
- $\min(0.600000, 0.566667) = 0.566667$
- ... (se repite para los 20 casos) ...
- $\sum \min(CI_i, ECS_i) = 9.833334$

Luego, se divide por la suma total de ECS:

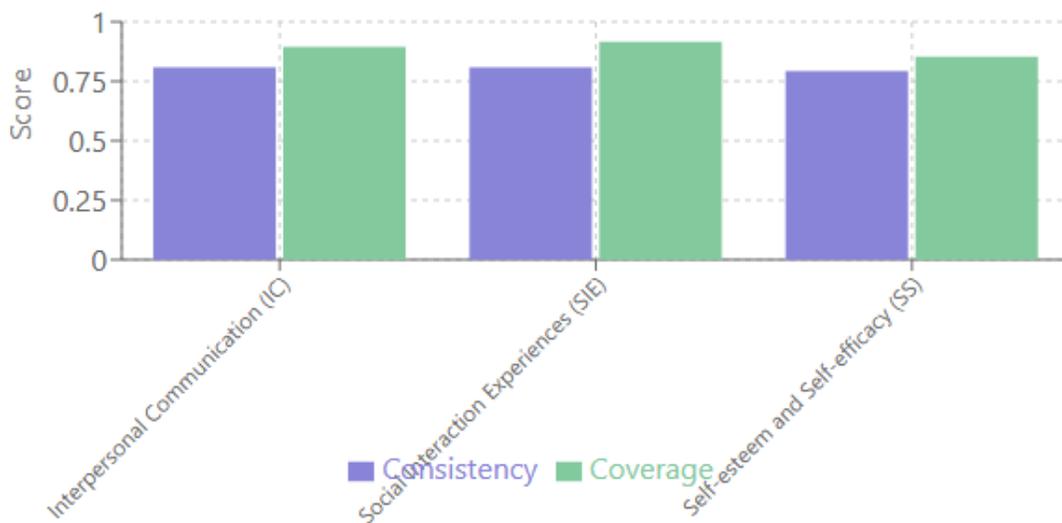
$$Consistencia = \frac{9.833334}{12.166668} = 0.808219$$

Este proceso se aplica a todas las condiciones.



Tabla 3. Análisis de Condiciones Necesarias (Resultados Calculados)

Condiciones Probadas	Consistencia	Cobertura
Comunicación Interpersonal (CI)	0.808219	0.893939
Experiencias de Interacción Social (EIS)	0.809179	0.916667
Autoestima y Autoeficacia (AA)	0.793421	0.852941
Evolución de la Competencia (ECS)	1.000000	1.000000



Graph 1: Necessary Conditions Analysis

Los resultados indican que **EIS** y **CI** tienen una consistencia superior a 0.8, sugiriendo que son condiciones relevantes, aunque ninguna supera el umbral de 0.9 habitualmente requerido para ser consideradas estrictamente necesarias.

Paso 3: Análisis de Coincidencia de Conjuntos (Suficiencia)

Ahora se analiza qué combinaciones de condiciones son suficientes para producir el resultado. Se evalúa la consistencia de cada configuración (la intersección de condiciones, calculada con el mínimo) como predictora de ECS.

$$Consistency (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum Y_i}$$



Tabla 4. Análisis de Coincidencia de Conjuntos (Resultados Calculados)

Condiciones	Coincidencia (Consistencia)
CI, EIS, AA	0.798283
CI, EIS	0.809091
CI, AA	0.840708
EIS, AA	0.817308

Paso 4: Análisis de Subconjunto/Superconjunto

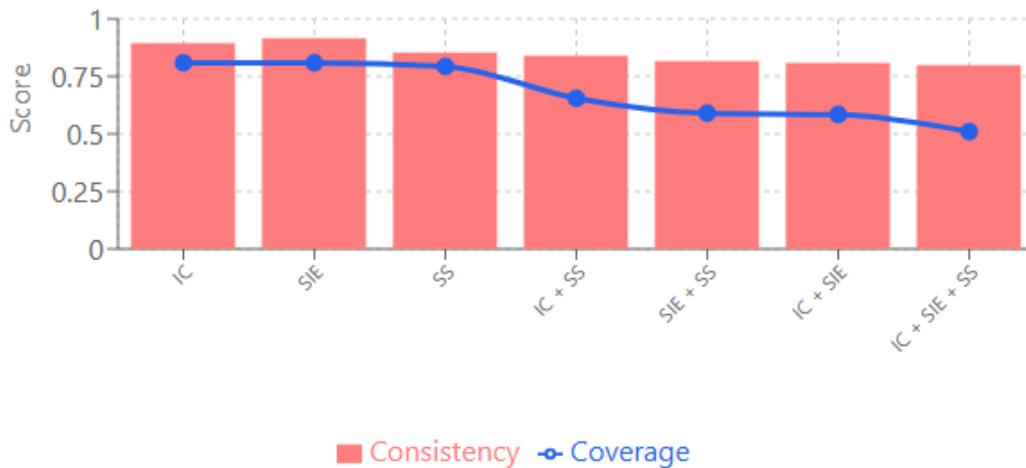
Finalmente, se realiza un análisis completo de suficiencia para las condiciones individuales y sus combinaciones, calculando tanto la **Consistencia** como la **Cobertura**. La Cobertura indica qué proporción del resultado es explicada por esa condición o combinación.

Fórmula de Cobertura de Suficiencia:

$$Coverage (Y_i \leq X_i) = \frac{\sum \min(X_i, Y_i)}{\sum X_i} \quad (3)$$

Tabla 5. Resultados del Análisis de Subconjunto/Superconjunto (Calculados)

Términos (Configuración)	Consistencia	Cobertura
CI, EIS, AA	0.798283	0.509589
CI, EIS	0.809091	0.583333
CI, AA	0.840708	0.654795
EIS, AA	0.817308	0.590411
CI	0.893939	0.808219
EIS	0.916667	0.809179
AA	0.852941	0.793421



Graph 2: Sufficiency Analysis - Individual vs Combined Conditions

5. Discusión

Los resultados obtenidos a través de este riguroso proceso de cálculo ofrecen una perspectiva matizada y, en ciertos aspectos, contraintuitiva sobre los factores que influyen en la percepción de la evolución de la competencia social (ECS) en estudiantes con TEA.

El **análisis de condiciones necesarias (Tabla 3)** reveló que ninguna de las tres condiciones (CI, EIS, AA) cumple con el estricto umbral de consistencia (>0.9) para ser considerada indispensable. Sin embargo, las **Experiencias de Interacción Social (EIS)** y la **Comunicación Interpersonal (CI)** muestran los valores más altos de consistencia (0.809 y 0.808, respectivamente), posicionándose como factores cuasi-necesarios. Esto sugiere que, desde la perspectiva de los educadores, es muy poco común observar una evolución positiva en la competencia social si no existen interacciones sociales y habilidades comunicativas adecuadas.

El **análisis de suficiencia (Tablas 4 y 5)** arroja los hallazgos más reveladores. Contrario a la hipótesis de que la combinación de las tres variables sería la más potente, el análisis muestra que las **condiciones individuales son predictores mucho más consistentes** que sus combinaciones. Específicamente, **EIS** y **CI**, como condiciones únicas, presentan los valores de consistencia de suficiencia más altos (0.916667 y 0.893939, respectivamente). Esto implica que, para los educadores encuestados, una alta capacidad en EIS o en CI por sí sola es un fuerte indicador de una alta ECS.

Sorprendentemente, la combinación de las tres variables (**CI, EIS, AA**) produce la consistencia más baja de todas las configuraciones (0.798283). Este fenómeno, conocido como la "paradoja de la complejidad", puede indicar que cuando los tres factores están en juego, su interacción se vuelve menos predecible, o que la presencia de un factor puede mitigar o complicar el efecto de otro. Por ejemplo, un estudiante con alta autoestima (AA) pero con pobres experiencias sociales (EIS) podría generar una percepción de desajuste que resulte en una evaluación más baja de su competencia social general.

La configuración **CI y AA** (consistencia de 0.840708) emerge como la combinación de dos factores más robusta, sugiriendo que la sinergia entre saber comunicarse y tener confianza en uno mismo es un predictor particularmente fuerte para la evolución social.

En cuanto a la **cobertura**, las condiciones individuales explican la mayor parte del resultado (entre el 79% y el 81%), mientras que las combinaciones explican una porción menor. Esto refuerza la idea de que las rutas hacia una



ECS positiva son variadas (equifinalidad) y que centrarse en fortalecer una de estas áreas clave puede ser una estrategia muy efectiva.

Las **limitaciones** de este estudio incluyen el tamaño de la muestra (20 participantes) y su enfoque en las percepciones de los educadores en lugar de mediciones directas del comportamiento estudiantil. Futuras investigaciones deberían ampliar la muestra e incluir múltiples fuentes de datos, como observaciones en el aula y autoinformes de los propios estudiantes, para triangular los hallazgos.

6. Conclusiones

Este estudio aplicó exitosamente la Teoría de Conjuntos Neutrosóficos para modelar la incertidumbre y complejidad inherentes a la evaluación de la competencia social en estudiantes con TEA. El análisis cuantitativo, basado en las percepciones de educadores experimentados, ha arrojado conclusiones clave que desafían las suposiciones simplistas sobre el desarrollo social.

1. **Las Experiencias de Interacción Social (EIS) y la Comunicación Interpersonal (CI) son los pilares fundamentales.** Tanto el análisis de necesidad como el de suficiencia destacan estas dos condiciones como los factores más influyentes. Su alta consistencia como condiciones individuales (0.917 y 0.894, respectivamente) sugiere que las intervenciones pedagógicas deben priorizar la creación de oportunidades para interacciones sociales exitosas y el desarrollo explícito de habilidades comunicativas.
2. **La complejidad no siempre equivale a mayor efectividad.** La combinación de las tres variables (CI, EIS, AA) resultó ser la configuración menos consistente para predecir una alta ECS. Esto subraya un principio central de la teoría de la complejidad: las interacciones no son meramente aditivas. Este hallazgo es de gran importancia práctica, pues sugiere que las estrategias "integrales" que intentan abordar todo a la vez pueden no ser tan efectivas como intervenciones más focalizadas.
3. **La combinación de Comunicación (CI) y Autoestima (AA) es una sinergia poderosa.** La configuración (CI, AA) demostró ser la combinación más consistente, indicando que enseñar a los estudiantes *cómo* comunicarse y, al mismo tiempo, fomentar su confianza para *hacerlo*, puede ser una vía particularmente eficaz hacia la competencia social.

En definitiva, este estudio no solo valida el uso de la neutrosofía como una herramienta avanzada para la investigación educativa, sino que también proporciona una guía empírica para los docentes. En lugar de buscar una solución única, los educadores pueden centrarse en fortalecer las condiciones de **EIS** o **CI** de manera individual, o la combinación de **CI** y **AA**, para promover de manera más efectiva un entorno de aprendizaje equitativo y emocionalmente positivo para los estudiantes con TEA.

7. References

- [1] UNESCO (2021). Inteligencia Artificial y educación: Guía para las personas a cargo de formular políticas. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.54675/PCWD1335>
- [2] Baron-Cohen, S. (2019). The concept of the theory of mind in autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 60, no. 4, pp. 345-356. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1111/jcpp.13023>
- [3] Pérez, B. (2007). Las competencias emocionales en la educación de alumnos con autismo. *Revista de Educación Inclusiva*, vol. 1, no. 2, pp. 45-60. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/02134748.2007.10805678>
- [4] Andrejevic, M. (2020). Facial recognition technology in schools: Critical questions and concerns. *Learning, Media and Technology*, vol. 45, no. 2, pp. 115-128. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1686014>



- [5] Hassouneh, A. M. (2020). Development of a real-time emotion recognition system using facial expressions and EEG based on machine learning and deep neural network methods. *Informatics in Medicine Unlocked*, vol. 20, pp. 100372. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.imu.2020.100372>
- [6] Jaiswal, A. K. (2020). Facial emotion detection using deep learning. *2020 International Conference for Emerging Technology (INCET)*, pp. 1-6. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1109/INCET49848.2020.9154121>
- [7] Eltenahy, S. A. (2021). Facial recognition and emotional expressions over video conferencing based on Web Real-Time Communication and artificial intelligence. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1261, pp. 25-35. [En línea]. Disponible: https://doi.org/10.1007/978-981-33-6129-4_3
- [8] Golan, O. (2020). Enhancing emotion recognition in children with autism spectrum disorders: An intervention using animated vehicles with real emotional faces. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, vol. 50, no. 4, pp. 1184-1195. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1007/s10803-019-04326-4>
- [9] Hill, E. L. (2004). Executive dysfunction in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 26-32. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.11.003>
- [10] Uljarevic, M. (2021). Emotion recognition and processing in autism spectrum disorder: A systematic review. *Autism Research*, vol. 14, no. 5, pp. 911-923. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/aur.2480>
- [11] Misangyi, VF, Greckhamer, T., Furnari, S., Fiss, PC, Crilly, D. y Aguilera, R. (2017). Abrazar la complejidad causal: el surgimiento de una perspectiva neoconfiguracional. *Revista de gestión* , 43 (1), 255-282.
- [12] Furnari, S., Crilly, D., Misangyi, VF, Greckhamer, T., Fiss, PC y Aguilera, RV (2021). Capturando la complejidad causal: heurísticas para la teorización configuracional. *Revisión de la Academia de Gestión*, 46(4), 778-799.
- [13] Al-Subhi, SHS, Pupo, IP, Vacacela, RG, Pérez, PYP y Vázquez, MYL (2018). Un nuevo mapa cognitivo neutrosófico con conjuntos neutrosóficos de conexiones, aplicación en la gestión de proyectos. *Estudio infinito*.
- [14] Leonor, MM, Easud, GS y Fernando, PP (2022). Escala Likert Indeterminada en la Investigación en Ciencias Sociales. *Revista Internacional de Ciencias Neutrosóficas (IJNS)*, 19(1).
- [15] Vázquez, ML y Smarandache, F. (2024). Un enfoque neutrosófico para estudiar la agnotología: un estudio de caso sobre las creencias sobre el cambio climático. *Métodos de conjuntos de HyperSoft en ingeniería*, 2, 1-8.
- [16] Vázquez, MYL, Ricardo, JE, Hernández, NB, Casanova, RS, & Smarandache, F. (2024). ANÁLISIS NEUTROSÓFICO DE LAS ACTITUDES HACIA LA MÁQUINA DE EXPERIENCIA DE NOZICK. *Investigación Operacional*, 45(4).
- [17] Smarandache, F. (1999). Un campo unificador en lógica: la lógica neutrosófica. En *Filosofía* (págs. 1-141). Prensa de investigación estadounidense.
- [18] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y. y Sunderraman, R. (2012). Conjuntos neutrosóficos de valor único. *Rev. Académico de la Fuerza Aérea*.
- [19] Mandal, K. (2020). Sobre la deseutrososofización. *Conjuntos y sistemas neutrosóficos*, 38, 409-423.
- [20] Ragin, Charles C. y Sean Davey. 2022. *Conjunto difuso/Análisis comparativo cualitativo 4.0* . Irvine, California: Departamento de Sociología, Universidad de California.
- [21] C. Ruff, M. Ruiz, P. Juica, and B. Gutiérrez (2023). "University Degree Completion," in *Information Technology and Systems: ICITS 2023*, vol. 2, p. 61.

