



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN

DEL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

**“MAPA COGNITIVO DIFUSO VS MAPA COGNITIVO
NEUTROSÓFICO EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE
SUMINISTRO”**

**“FUZZY COGNITIVE MAP VS NEUTROSOPHIC COGNITIVE MAP IN SUPPLY CHAIN
MANAGEMENT”**

Autores:

Cellán Vera Juan Honorio

Zambrano Arteaga Cindy Monserrate

Tutor de Titulación:

Ing. Antonio Xavier Zavala Alcívar, Mg. Sc.

Manta - Manabí - Ecuador

2025

**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIA Y ARQUITECTURA**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“FUZZY COGNITIVE MAP VS NEUTROSOPHIC COGNITIVE MAP IN
SUPPLY CHAIN MANAGEMENT”**

Sometida a consideración del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, como requisito para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Aprobado por el Tribunal Examinador:

DECANO DE LA FACULTAD
Ing.

DIRECTOR
Ing.

JURADO EXAMINADOR

JURADO EXAMINADOR

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de los estudiantes **Cellán Vera Juan Honorio & Zambrano Arteaga Cindy Monserrate**, legalmente matriculado/a en la carrera de Ingeniería Industrial período académico 2025-2025, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es *“Mapa Cognitivo Difuso Vs Mapa Cognitivo Neutrosófico en la Gestión de la Cadena de Suministro”*.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 04 de agosto de 2025.

Lo certifico,



Antonio
Xavier



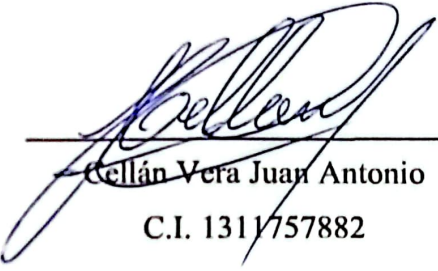
Zavala
Alcivar

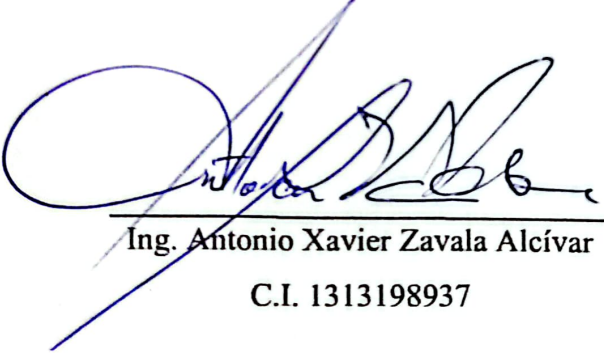
Ing. Antonio Zavala-Alcívar Mg.Sc.
Docente Tutor

Declaración de Autoría de Tesis

Zambrano Arteaga Cindy Monserrate & Cellán Vera Juan Honorio, estudiantes de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura, Carrera de Ingeniería Industrial, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido del presente trabajo titulado **"Mapa Cognitivo Difuso Vs Mapa Cognitivo Neutrosófico en la Gestión de la Cadena de Suministro"** es una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del tutor, Ing. Antonio Xavier Zavala Alcívar y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.


Zambrano Arteaga Cindy Monserrate
C.I. 1314738525


Cellán Vera Juan Antonio
C.I. 1311757882


Ing. Antonio Xavier Zavala Alcívar
C.I. 1313198937

Manta, 01 de agosto de 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo al niño que siempre confió en que alcanzaría cada uno de sus sueños, por nunca rendirse, por ser un guerrero y siempre mirar al frente, gracias por mantener la fortaleza y firmeza en cada paso dado.

A mis hijos, Juan, Thiago y Vianka, principales motores de mi vida, sin ellos no podría ser posible haber llegado tan lejos, gracias por luchar junto a mi cada día, cada sonrisa y cada palabra de confianza generaron esa fuerza necesaria para continuar hasta el final con la misma actitud y las mismas ganas.

A mi madre Isabel Gerardina Vera Mejía, y a mi padre Júpiter Nemecio Cellán, por su apoyo incondicional.

Cellán Vera Juan Honorio

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre Amada Beatriz Arteaga Zambrano, y a mi padre Nery David Zambrano Vera, por ser el fundamento de mis sueños. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio silencioso y por enseñarme con el ejemplo que el esfuerzo y la humildad abren puertas. Todo lo que soy y lo que he logrado es, en gran parte, por ustedes.

A esa persona especial, por ser mi guía y mi refugio seguro, que nunca soltó mi mano y creyó en mi cuando incluso yo dudaba.

Este logro no es solo mío, sino de todos los que me acompañaron con amor, paciencia y fe.

.

Zambrano Arteaga Cindy Monserrate

Reconocimiento

Con profunda estima y admiración agradezco a mi tutor Ing. Antonio Xavier Zavala Alcívar por compartir sus conocimientos y ser el guía fundamental para el desarrollo exitoso del presente trabajo de investigación.

A mis mentores a nivel Industrial, Harry Zerda y Justo Vera, gracias por todas las enseñanzas, consejos y apoyo en cada uno de mis niveles de estudio.

Un reconocimiento especial a mis compañeros de trabajo, Julio Menéndez, Diego Macías, Ariel Ozaeta, Carlos López, César Anchundia, Juan Espinales, por su predisposición de ayudar para que pudiese asistir a clases sin ningún contratiempo.

A mi compañera de tesis, de aula, de proyectos, de trabajos grupales, mi amiga incondicional, Cindy Zambrano, su amistad y cariño hicieron más fácil el camino.

A mis amigos Fabiana y Ángel, por tantos buenos momentos compartidos, por cada palabra de aliento y de confianza que motivaron siempre a seguir adelante, gracias por su lealtad y aprecio.

Cellán Vera Juan Honorio

Reconocimiento

Este reconocimiento va en honor a mis padres, cuyo amor incondicional, apoyo constante y sacrificios han sido fundamentales a lo largo de este camino. Su compromiso y cariño me han dado la fuerza para continuar, incluso en los momentos más difíciles. Gracias por ser mi refugio, mi motivación y el ejemplo más grande de entrega y perseverancia.

A mis hermanas, por estar siempre presentes. No solo han sido testigos de mis logros y desafíos, sino también aliadas incondicionales que han contribuido significativamente en mi crecimiento personal.

A mis amigos de la universidad, Ángel, Fabiana y Juan, quienes con su amistad, apoyo y compañerismo hicieron de esta etapa una experiencia muy amena y significativa. Su presencia hizo que los momentos difíciles fueran más llevaderos y que los logros tuvieran aún más sentido.

A mi tutor Ing. Antonio Zavala, por su orientación profesional, compromiso y dedicación a lo largo de todo el proceso académico

Zambrano Arteaga Cindy Monserrate

Índice de Contenido

Declaración de Autoría de Tesis.....	iv
Dedicatoria	v
Dedicatoria	vi
Reconocimiento	vii
Reconocimiento	viii
Índice de Contenido	ix
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras.....	xi
Resumen Ejecutivo	xii
Executive Summary	xiii
Introducción.....	1
Antecedentes	2
Planteamiento del problema	4
Objetivos	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos	5
Justificación.....	5
Capítulo 1	6
1 Fundamentación Teórica	6
1.1 Antecedentes investigativos.....	6
1.2 Bases teóricas / conceptuales.....	13
1.2.1 Qué es Mapa Cognitivo.....	13
1.2.2 Mapa Cognitivo Difuso	15
1.2.3 Mapa Cognitivo Neutrosófico	17
1.3 Marco Metodológico	20

1.3.1	Modalidad básica de la investigación	20
1.3.2	Enfoque	22
1.3.3	Nivel de Investigación	23
1.3.4	Población de Estudio	24
1.3.5	Tamaño de la Muestra	25
1.3.6	Técnicas de recolección de datos.....	25
1.3.7	Plan de recolección de datos	26
1.3.8	Procesamiento de la Información	26
Capítulo 2		27
2	Diagnóstico o Estudio de Campo	27
2.1	Aplicación metodológica en la literatura científica sobre Mapas Cognitivos Difusos y Mapas Cognitivos Neutrosóficos.....	27
2.1.1	Fase 1: Formulación de la pregunta de investigación	27
2.1.2	Fase 2: Búsqueda de bibliografía pertinente	28
2.1.3	Fase 3: Selección y evaluación de la bibliografía.....	29
2.1.4	Fase 4: Análisis y síntesis de la información	29
2.1.5	Fase 5: Comunicación y utilización de los resultados	30
2.2	Análisis descriptivo	30
2.2.1	Análisis bibliométrico.....	34
Capítulo 3		36
3	Propuesta de Mejora	36
3.1	Incertidumbre en cadenas de suministro: enfoques conceptuales para la comparación de modelos cognitivos	36
3.2	Tipos de lógica para representar la incertidumbre en modelos cognitivos	37
3.3	Técnicas relacionadas al manejo de la incertidumbre en cadenas de suministro	39

3.4	Análisis de la literatura review	41
3.5	Estructura metodológica de los estudios basados en FCM.....	70
3.6	Implicaciones metodológicas	71
	Conclusiones	1
	Recomendaciones.....	2
	Bibliografía	5

Índice de Tablas

Tabla 1	Comparación de los Mapas Cognitivos Difusos y Mapas Cognitivos Neutrosóficos	19
Tabla 2	Literature Review	41
Tabla 3	Técnicas mayormente empleadas en conjunto FCM	68
Tabla 4	Campo de aplicación de los FCM.....	70

Índice de Figuras

Figura 1	Distribución de artículos por año de publicación	31
Figura 2	Principales revistas con mayor número de publicaciones sobre cadenas de suministro	32
Figura 3	Países con mayor número de contribuciones	32
Figura 4	Autores con mayor número de publicaciones	33
Figura 5	Análisis bibliométrico	34
Figura 6	Clasificación de artículos según el uso exclusivo o combinado de FCM con otras técnicas metodológicas.....	71

Resumen Ejecutivo

El presente estudio desarrolla una revisión sistemática de la literatura con enfoque comparativo, cuyo objetivo principal es analizar las diferencias metodológicas entre los Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) en el contexto de la gestión de la cadena de suministro. A partir de la identificación de artículos científicos indexados en bases de datos académicas de alta rigurosidad, se clasifica la producción científica en dos grupos: estudios que emplean exclusivamente FCM y aquellos que lo combinan con técnicas complementarias.

La revisión evidencia que el FCM es ampliamente utilizado para modelar relaciones causales entre factores relevantes del sistema logístico, gracias a su capacidad de representar incertidumbre en términos de lógica difusa. No obstante, también se identifican limitaciones significativas, especialmente cuando se requiere representar información contradictoria, incompleta o indeterminada, aspectos que el FCM no contempla de forma explícita.

Por el contrario, aunque no se encontraron estudios que apliquen directamente el NCM en el contexto de la cadena de suministro, se reconoce su potencial metodológico superior, al permitir la representación independiente de verdad, falsedad e indeterminación a través de la lógica neutrosófica. Esta capacidad resulta particularmente relevante en entornos complejos y dinámicos, donde los datos y percepciones expertas pueden ser ambiguos, imprecisos o conflictivos.

En consecuencia, se concluye que existe un vacío metodológico en el uso de NCM dentro de la cadena de suministro, lo que justifica su exploración en investigaciones futuras. Además, se plantea la conveniencia de avanzar hacia esquemas híbridos o comparativos que permitan evaluar de forma empírica la superioridad o complementariedad entre ambas técnicas.

Palabras clave: Mapa Cognitivo Difuso (FCM), Mapa Cognitivo Neutrosófico (NCM), cadena de suministro, lógica difusa, lógica neutrosófica, ambigüedad, indeterminación, revisión sistemática.

Executive Summary

This study presents a systematic literature review with a comparative focus, aimed at analyzing the methodological differences between Fuzzy Cognitive Maps (FCM) and Neutrosophic Cognitive Maps (NCM) in the context of supply chain management. Based on a structured search of peer-reviewed scientific articles in high-quality academic databases, the literature is classified into two main categories: studies that use FCM exclusively and those that combine FCM with complementary techniques.

The review confirms that FCM is widely used to model causal relationships among key factors within logistics systems, primarily due to its ability to represent uncertainty through fuzzy logic. However, several methodological limitations are identified, particularly when the systems under study involve conflicting, incomplete, or indeterminate information conditions not explicitly addressed by FCM.

Conversely, while no studies were found applying NCM directly within the supply chain domain, its superior methodological potential is recognized. NCM enables the independent representation of truth, falsity, and indeterminacy through neutrosophic logic, offering a more robust framework for modeling ambiguity and contradiction. This capability is especially relevant in complex and dynamic environments where data and expert judgments are often inconsistent or ambiguous.

In conclusion, this review identifies a methodological gap in the application of NCM to supply chain research and highlights the need for future studies exploring its integration. Furthermore, the study advocates for the development of hybrid or comparative modeling frameworks to empirically evaluate the analytical advantages and complementarities between FCM and NCM.

Keywords: Fuzzy Cognitive Maps (FCM), Neutrosophic Cognitive Maps (NCM), supply chain, fuzzy logic, neutrosophic logic, ambiguity, indeterminacy, systematic literature review.

Introducción

En los escenarios actuales de alta complejidad, donde las cadenas de suministro enfrentan condiciones cambiantes, incertidumbre informativa y decisiones estratégicas cada vez más complejas, se hace indispensable contar con herramientas metodológicas capaces de representar de manera fiel las interacciones causales entre múltiples factores. En este contexto, los mapas cognitivos se han posicionado como una alternativa valiosa para modelar conocimiento experto, captar relaciones dinámicas y facilitar la toma de decisiones en entornos desafiantes.

Dentro de este marco, los Mapas Cognitivos Difusos (*FCM*, por sus siglas en inglés *Fuzzy Cognitive Map*) han demostrado una importante capacidad para capturar la gradualidad de las relaciones entre variables, permitiendo representar sistemas bajo condiciones de ambigüedad y parcial conocimiento. Su versatilidad y aplicabilidad han sido validadas en diversos sectores, desde la manufactura hasta la sostenibilidad, proporcionando una base robusta para el análisis causal en cadenas de suministro. No obstante, a pesar de su utilidad, los FCM presentan limitaciones en la gestión explícita de contradicciones e indeterminaciones, elementos inherentes en sistemas complejos donde convergen múltiples fuentes de información y perspectivas divergentes.

Por otra parte, los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (*NCM*, por sus siglas en inglés *Neutrosophic Cognitive Map*) surgen como una evolución metodológica que introduce la lógica neutrosófica, permitiendo representar simultáneamente los grados de verdad, falsedad e indeterminación en las relaciones causales. Esta propiedad los convierte en una herramienta potencialmente más poderosa para enfrentar entornos VUCA (*volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad*), característicos de las cadenas de suministro contemporáneas. Sin embargo, su aplicación en este campo es aún incipiente y no ha sido explorada con la misma profundidad que los FCM.

Ante este panorama, el presente estudio desarrolla una *Revisión Sistemática de la Literatura* (SLR, por sus siglas en inglés *Systematic Literature Review*) con enfoque comparativo, orientada a analizar las diferencias

metodológicas, capacidades representacionales y aplicaciones prácticas de los FCM y NCM en la gestión de cadenas de suministro. Se parte de un análisis riguroso de artículos científicos indexados, lo que permite clasificar la producción académica en función del tipo de técnica empleada, el fenómeno modelado, el número de factores considerados y las lógicas subyacentes utilizadas. Esta revisión no solo evidencia las tendencias de uso, sino que también revela vacíos metodológicos y oportunidades de mejora.

Al comprender las fortalezas y limitaciones de cada enfoque, esta investigación ofrece una visión crítica y fundamentada que contribuye al desarrollo metodológico en el campo de la modelación cognitiva, proponiendo además la necesidad de avanzar hacia marcos híbridos o adaptativos que integren las ventajas de ambos modelos. Así, se busca aportar al fortalecimiento de la capacidad analítica de las organizaciones frente a los retos complejos de la cadena de suministro, y sentar las bases para futuras investigaciones en el uso de modelos cognitivos avanzados en contextos inciertos.

Antecedentes

En el ámbito de la gestión de cadenas de suministro, la necesidad de abordar problemáticas complejas, caracterizadas por múltiples actores, incertidumbre informativa y decisiones interdependientes, ha impulsado la incorporación de herramientas cognitivas orientadas al modelado de sistemas. Entre estas, los mapas cognitivos, como representación gráfica del conocimiento experto, han adquirido relevancia al facilitar la identificación y análisis de relaciones causales entre variables críticas. Esta capacidad ha sido particularmente útil en entornos donde la información es incompleta, ambigua o dinámica, como ocurre frecuentemente en procesos logísticos, estratégicos y operativos de las cadenas de suministro.

Los Mapas Cognitivos Difusos (FCM, por sus siglas en inglés) han sido una de las técnicas más utilizadas dentro de este enfoque, dada su capacidad para incorporar la lógica difusa en la representación de la intensidad de las relaciones causales. Esta característica permite modelar sistemas en los que las relaciones no son estrictamente binarias, sino que presentan diferentes grados

de influencia positiva o negativa. La literatura ha documentado diversas aplicaciones exitosas de FCM en ámbitos como la gestión de inventarios, la selección de proveedores, la evaluación del desempeño logístico y la toma de decisiones bajo riesgo. No obstante, los FCM tienden a operar bajo supuestos de consistencia en las opiniones y estabilidad en la información, lo que puede limitar su alcance en contextos donde la ambigüedad y la contradicción son inherentes.

En este contexto emergen los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM), una extensión metodológica que incorpora la lógica neutrosófica desarrollada por Smarandache, la cual permite representar no solo el grado de verdad o falsedad de una relación causal, sino también el grado de indeterminación asociado. Esta capacidad resulta especialmente relevante para modelar sistemas con alta incertidumbre epistémica o con múltiples fuentes de conocimiento no alineadas, como suele ser el caso en las cadenas de suministro globalizadas. Aunque la lógica neutrosófica ha comenzado a atraer atención en campos como la inteligencia artificial y la ingeniería del conocimiento, su aplicación en logística y operaciones aún se encuentra en una etapa incipiente y carece de validaciones empíricas amplias.

A pesar del potencial que ofrecen tanto los FCM como los NCM, la literatura académica presenta una fragmentación importante en cuanto a su desarrollo y aplicación. Los estudios existentes tienden a centrarse en casos particulares, con metodologías diversas y criterios de evaluación poco homogéneos, lo que dificulta la comparación de resultados y la construcción de un marco de referencia consolidado. Mientras que los FCM cuentan con una trayectoria más extensa y una comunidad investigadora activa, los NCM presentan vacíos en cuanto a su implementación práctica, diseño de herramientas computacionales y sistematización de resultados en contextos logísticos reales.

Frente a esta situación, se hace evidente la necesidad de llevar a cabo una revisión sistemática de la literatura que no solo identifique las aplicaciones existentes de ambos enfoques en la gestión de la cadena de suministro, sino que también analice de manera comparativa sus fundamentos teóricos, técnicas de

construcción, capacidades representacionales y limitaciones metodológicas. Este tipo de análisis permitiría establecer un panorama más claro sobre la evolución de estas herramientas cognitivas, su pertinencia en entornos complejos y las oportunidades de desarrollo futuro, ya sea mediante su uso diferenciado o la integración de sus fortalezas en marcos híbridos de modelación. Tal revisión constituye, por tanto, un insumo fundamental para fundamentar decisiones informadas en investigaciones y prácticas que busquen enfrentar los retos de la cadena de suministro desde una perspectiva cognitiva avanzada.

Planteamiento del problema

En los últimos años la modelación de sistemas complejos, particularmente en la gestión de cadenas de suministro, se han incorporado diversas herramientas cognitivas orientadas a representar relaciones causales entre múltiples factores. Entre estas, se destacan metodologías basadas en estructuras gráficas que permiten incorporar distintos grados de incertidumbre, tales como los modelos cognitivos contruidos sobre lógica difusa o neutrosófica.

Si bien estas técnicas han sido utilizadas en diferentes aplicaciones logísticas, se observa que su presencia en la literatura académica responde a enfoques dispersos y, en muchos casos, poco sistematizados. Por un lado, se identifican estudios que adoptan herramientas fundamentadas en lógica difusa, con un mayor nivel de consolidación teórica y práctica. Por otro, emergen propuestas basadas en lógica neutrosófica, cuyo uso aún es incipiente y cuya integración en el ámbito logístico no ha sido suficientemente evaluada ni contrastada respecto a su efectividad metodológica.

Ante este escenario, se evidencia una carencia de estudios que comparen de manera estructurada ambos enfoques, analizando no solo sus fundamentos lógicos, sino también su aplicabilidad, técnicas complementarias utilizadas, tipos de sistemas modelados y capacidad para representar incertidumbre, ambigüedad o indeterminación. Esta ausencia limita la posibilidad de comprender con claridad los alcances y restricciones de cada metodología dentro de contextos logísticos complejos.

Por tanto, el presente trabajo identifica como problema central la falta de una revisión sistemática de la literatura que realice un análisis comparativo entre ambos enfoques de modelación cognitiva, con base en criterios metodológicos comunes que permitan sustentar decisiones informadas sobre su selección, integración o desarrollo futuro en estudios orientados a la cadena de suministro.

Objetivos

Objetivo General

Analizar comparativamente el uso de los Mapas Cognitivos Difusos y los Mapas Cognitivos Neutrosóficos en la gestión de cadenas de suministro bajo entorno VUCA, mediante una revisión sistemática de la literatura.

Objetivos Específicos

- Identificar los estudios científicos que aplican Mapas Cognitivos Difusos o Neutrosóficos en el contexto de las cadenas de suministro.
- Clasificar las técnicas metodológicas utilizadas en conjunto con estos modelos cognitivos, según su tipo, propósito y lógica subyacente.
- Analizar los sistemas, procesos o fenómenos modelados en los estudios seleccionados, así como la cantidad de factores considerados en cada caso.
- Comparar los enfoques identificados, destacando similitudes, diferencias y vacíos metodológicos que justifiquen futuras líneas de investigación.

Justificación

La presente investigación se justifica en función de la necesidad de consolidar un cuerpo de conocimiento estructurado y comparativo sobre el uso de técnicas cognitivas aplicadas a la modelación de sistemas logísticos. En particular, tanto los Mapas Cognitivos Difusos (FCM) como los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) han sido utilizados en distintos estudios para representar relaciones causales entre factores interdependientes, bajo condiciones de incertidumbre, ambigüedad o indeterminación. No obstante, la literatura especializada muestra que su tratamiento ha sido abordado de forma

fragmentada, sin una sistematización clara que permita establecer criterios de comparación consistentes entre ambas metodologías.

Desde esta perspectiva, el estudio adquiere relevancia al desarrollar una Revisión Sistemática de la Literatura (SRL) orientada a comparar ambos enfoques, lo cual permite no solo identificar patrones de uso, técnicas complementarias y estructuras de modelación, sino también detectar vacíos metodológicos y áreas de oportunidad para futuras investigaciones. Esta comparación, al basarse en evidencia científica recopilada de manera rigurosa, proporciona una base sólida para la toma de decisiones metodológicas en investigaciones posteriores que requieran representar sistemas complejos bajo múltiples niveles de incertidumbre.

Además, los resultados obtenidos ofrecen criterios técnicos y analíticos útiles para investigadores, académicos y profesionales, al permitir una comprensión más precisa de las ventajas, limitaciones y posibles escenarios de aplicación de cada enfoque. En consecuencia, esta investigación no solo contribuye al desarrollo teórico en el campo de la modelación cognitiva aplicada a cadenas de suministro, sino que también fortalece el uso fundamentado de herramientas metodológicas en contextos contemporáneos.

Capítulo 1

1 Fundamentación Teórica

1.1 Antecedentes investigativos

Este apartado presenta una revisión de los antecedentes investigativos más relevantes sobre la relación entre la FCM y la NCM en el ámbito de las cadenas de suministro, con el objetivo de identificar enfoques, hallazgos y vacíos que fundamenten y orienten el presente trabajo.

- Yousefi & Mohamadpour Tosarkani (2022) , en una investigación realizada en Teherán, Irán, titulada “*An analytical approach for evaluating the impact of blockchain technology on sustainable supply chain performance*”, tuvieron como objetivo general identificar los

habilitadores de la tecnología blockchain (BTA) en las cadenas de suministro manufactureras (MSC) y modelar las relaciones entre ellos para evaluar su impacto en el desempeño sostenible. La metodología adoptada combinó Mapas Cognitivos Difusos (FCM) con Análisis Envoltante de Datos Estocástico (FSDEA), permitiendo integrar conocimiento experto y datos cuantitativos en un enfoque estructurado y analítico. En una primera fase, se identificaron los principales habilitadores de la adopción de BTA mediante una revisión de literatura, centrándose en la sostenibilidad como eje estructurante. Posteriormente, se modelaron las relaciones causales entre los habilitadores mediante FCM para representar gráficamente sus interdependencias. En los resultados, se identificaron los habilitadores más relevantes y sus interacciones, destacando aquellos con mayor influencia sobre el rendimiento sostenible de la cadena de suministro. Se concluyó que la implementación responsable de la tecnología blockchain permite reducir prácticas insostenibles, mejorar la trazabilidad y promover una mayor eficiencia operativa, siempre que se sustente en una adecuada comprensión de los factores causales que la condicionan. Este estudio demuestra la utilidad de los FCM para modelar entornos complejos bajo incertidumbre, particularmente en la adopción de tecnologías emergentes como blockchain en el contexto de la sostenibilidad logística.

- Irani et al. (2018), en una investigación desarrollada en Londres, Reino Unido, titulada “*Managing food security through food waste and loss: Small data to big data*”, tuvo como objetivo general identificar y analizar las interrelaciones entre los factores organizacionales que inciden en la gestión de la seguridad alimentaria mediante la reducción del desperdicio de alimentos a lo largo de la cadena de suministro. La metodología adoptada fue de carácter empírico e interpretativo, utilizando Mapas Cognitivos Difusos (FCM) como herramienta central para representar las relaciones causales entre dichos factores, complementada con la plataforma PolicyCompass para la simulación. Los investigadores involucraron a productores y consumidores en ejercicios de priorización PESTLE, y mediante un

proceso participativo y de retroalimentación, capturaron percepciones sobre aspectos de distribución, consumo y generación de residuos alimentarios. Como resultado, se identificaron los factores que intervienen en el desperdicio y se evidenció que su interacción puede ser modelada de manera efectiva a través de FCM, permitiendo generar escenarios predictivos para la toma de decisiones estratégicas. Se concluyó que el uso de este enfoque facilita el diseño de políticas públicas más eficaces y adaptativas, aportando evidencia científica para fortalecer la resiliencia de las cadenas alimentarias desde una perspectiva organizacional sistémica.

- Shojaei & Haeri (2019), en una investigación realizada en Teherán, Irán, titulada “*Development of supply chain risk management approaches for construction projects: A grounded theory approach*”, tuvieron como objetivo proponer un modelo integral de gestión de riesgos en la cadena de suministro (SCRM) específicamente para proyectos de construcción. Para ello, aplicaron una metodología combinada que integró la Teoría Fundamentada (GT), Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y GRAM (Graphic Risk Assessment Model). Inicialmente, se realizaron entrevistas a expertos seleccionados con base en su experiencia profesional. Luego, a través de GT, se identificaron los conceptos clave del sistema SCRM, agrupándolos en seis categorías: condiciones causales, condiciones intermedias, condiciones contextuales, estrategias, acciones e interacciones, y consecuencias. Los resultados pusieron en evidencia que, a diferencia del sector manufacturero, donde existen prácticas consolidadas de gestión de riesgos, en la industria de la construcción los gerentes de proyectos tienden a confiar en su experiencia personal, desestimando herramientas analíticas desarrolladas por la literatura. El estudio concluye que un enfoque estructurado y basado en modelos formales como FCM y GT permite una mejor comprensión y gestión de los riesgos en entornos complejos, ofreciendo una alternativa robusta frente a la gestión empírica tradicional.

- López & Ishizaka (2019), en una investigación realizada en Portsmouth, Reino Unido, titulada “*A hybrid FCM-AHP approach to predict impacts of offshore outsourcing location decisions on supply chain*”

resilience”, tuvieron como objetivo principal desarrollar un marco metodológico que permita predecir el impacto de las decisiones de localización en procesos de subcontratación internacional sobre la resiliencia de la cadena de suministro. La metodología implementada consistió en la hibridación de Mapas Cognitivos Difusos (FCM) con el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), lo cual permitió representar de forma precisa las conexiones causales e incertidumbres inherentes a las decisiones estratégicas de localización. Este enfoque híbrido permitió cuantificar los efectos de los factores involucrados, transformando de manera rigurosa la información cualitativa en juicios estructurados. Como resultado, se obtuvieron modelos capaces de anticipar las consecuencias de la subcontratación sobre la capacidad de respuesta de la cadena, demostrando la utilidad de este enfoque para apoyar la toma de decisiones en contextos volátiles. Se concluye que la integración de FCM y AHP proporciona una herramienta sólida para gestionar la complejidad e incertidumbre asociadas a la resiliencia organizacional en procesos de externalización global.

- Kim et al. (2008), en un estudio realizado en Seúl, Corea del Sur, titulado *“Forward-backward analysis of RFID-enabled supply chain using fuzzy cognitive map and genetic algorithm”*, propusieron una metodología para convertir los vectores de estado obtenidos mediante tecnología RFID en conocimiento causal bidireccional para la gestión dinámica de cadenas de suministro. La metodología empleada se basó en la integración de Mapas Cognitivos Difusos (FCM) con algoritmos genéticos, lo que permitió realizar un análisis directo y retrospectivo de las relaciones causa-efecto dentro del sistema. El método de análisis hacia adelante presentó un 86% de precisión, mientras que el análisis retrospectivo alcanzó un 76%, ambos con aplicación de técnicas de fuzzificación. Como resultado, se logró una simulación efectiva del comportamiento de la cadena de suministro bajo condiciones dinámicas. Se concluyó que la combinación de FCM con técnicas de inteligencia computacional proporciona una herramienta robusta para capturar y representar conocimiento estructural en sistemas complejos, y que su

aplicación es clave para optimizar decisiones logísticas en entornos altamente volátiles y tecnológicamente habilitados.

- Chen (2015), en una investigación desarrollada en Taipéi, Taiwán, titulada “*Autonomous tracing system for backward design in food supply chain*”, tuvo como objetivo diseñar un sistema autónomo de trazabilidad basado en agentes inteligentes para cadenas de suministro alimentarias, integrando arquitectura de Internet de las Cosas (IoT), Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y reglas difusas. La metodología consistió en modelar un sistema de trazabilidad que no solo automatizara procesos, sino que permitiera una trazabilidad autónoma, identificando simultáneamente las causas del problema, la responsabilidad y su localización dentro del ciclo de vida del producto. Para ello, se aplicó un algoritmo de efectos totales que permitió cuantificar el impacto del diseño retrospectivo (backward design) sobre la eficiencia del proceso de trazabilidad, en un estudio de caso con productos agroalimentarios. Los resultados demostraron que el uso de FCM permitió simular relaciones imprecisas entre eventos, ofreciendo una representación más realista de los flujos de información y decisión dentro del sistema. Se concluye que el modelo propuesto fortalece significativamente la capacidad de respuesta ante problemas de seguridad alimentaria, facilitando la gestión de calidad mediante una trazabilidad proactiva y estructurada.

- Büyüközkan & Vardaloglu (2012), en una investigación desarrollada en Estambul, Turquía, titulada “*Analyzing of CPFR success factors using fuzzy cognitive maps in retail industry*”, tuvieron como objetivo identificar y analizar los factores críticos para una implementación exitosa del modelo de Planificación, Pronóstico y Reabastecimiento Colaborativo (CPFR) en el sector minorista. Para alcanzar este propósito, los autores desarrollaron un modelo compuesto por tres subsistemas clave: intercambio de información, sincronización de decisiones y alineación de incentivos. La metodología empleada se basó en el uso de Mapas Cognitivos Difusos (FCM), herramienta idónea para representar relaciones causales entre múltiples variables interdependientes en contextos de alta complejidad e incertidumbre. Mediante esta técnica, se

diseñaron y evaluaron escenarios "what-if", que permitieron simular y comprender el impacto de distintos factores sobre el éxito del CPFR. Los resultados evidenciaron que la integración de sistemas internos y externos entre socios comerciales, así como la coordinación estratégica de decisiones y motivaciones compartidas, son determinantes para lograr una estructura eficiente y de bajo costo en la cadena de suministro minorista. Se concluye que el uso de FCM aporta un marco analítico riguroso para apoyar decisiones colaborativas en entornos dinámicos, siendo esta la primera investigación en aplicar dicha técnica al análisis de éxito del modelo CPFR.

- Irani et al. (2014), en una investigación desarrollada en Londres, Reino Unido, titulada "*Visualising a knowledge mapping of information systems investment evaluation*", tuvieron como objetivo principal explorar y representar visualmente los componentes de conocimiento asociados a la evaluación de inversiones en sistemas de información (IS) en el contexto de la gestión de la cadena de suministro. Para ello, se aplicó una técnica de mapeo de conocimiento basada en Mapas Cognitivos Difusos (FCM), integrada dentro de un sistema experto difuso. Esta metodología permitió modelar la complejidad inherente a los procesos de decisión sobre inversiones tecnológicas, considerando múltiples factores interrelacionados como costos, beneficios, riesgos y dimensiones organizacionales o humanas. La investigación se fundamentó en el análisis inductivo de literatura y hallazgos empíricos, con el fin de identificar los impulsores explícitos y tácitos de las decisiones de inversión. Los resultados mostraron que la evaluación de inversiones en IS es una tarea dinámica y multifacética, donde las relaciones causales emergen desde la interacción entre perspectivas directivas y de usuarios. Se concluyó que el uso de FCM facilita la comprensión del comportamiento sistémico del conocimiento en procesos decisionales, proporcionando un mapa útil para organizaciones que buscan evitar errores estratégicos y optimizar sus procesos de adopción tecnológica.

- Bevilacqua et al. (2020), en una investigación desarrollada en Ancona, Italia, titulada "*Fuzzy cognitive maps approach for analysing*

the domino effect of factors affecting supply chain resilience: a fashion industry case study”, tuvieron como objetivo desarrollar un modelo conceptual que permita analizar el efecto dominó entre los factores que afectan la resiliencia de la cadena de suministro. La metodología empleada se basó en el uso de Mapas Cognitivos Difusos (FCM), una herramienta que posibilita representar las relaciones causales entre conceptos multidimensionales y multidisciplinarios vinculados a la gestión de riesgos, factores de disrupción y prácticas de gestión en la cadena de suministro. El estudio de caso fue aplicado al sector de la moda, permitiendo validar el modelo en un entorno operativo real. Los resultados obtenidos demostraron que el enfoque propuesto facilita la identificación de secuencias causales que, a partir de un único evento disparador, pueden desencadenar reacciones en cadena que afectan significativamente la estabilidad de toda la red de suministro. Se concluye que esta metodología ofrece a los gestores una comprensión profunda del comportamiento sistémico de la cadena, permitiendo evaluar con mayor precisión las interdependencias y vulnerabilidades, y así diseñar estrategias efectivas para contener y mitigar disrupciones en contextos altamente sensibles como el de la industria de la moda.

- Roy et al. (2020), en una investigación realizada en Dhaka, Bangladesh, titulada *“Evaluating strategies for environmental sustainability in a supply chain of an emerging economy”*, tuvieron como objetivo desarrollar una metodología de apoyo a la toma de decisiones que permita evaluar estrategias de sostenibilidad ambiental en cadenas de suministro, combinando criterios de viabilidad económica y ecológica. La metodología implementada integró Mapas Cognitivos Difusos (FCM), el algoritmo de aprendizaje Extended Delta Rule (EDR) y el Análisis Envolvente de Datos (DEA). En primer lugar, se identificaron 18 estrategias genéricas de sostenibilidad ambiental y tres factores de medición del desempeño de la cadena de suministro. Posteriormente, se modelaron las relaciones causales entre dichas estrategias y los factores de desempeño mediante FCM, utilizando EDR para cuantificar sus impactos. Finalmente, DEA fue aplicado para priorizar las estrategias en

función de los valores obtenidos. El estudio de caso se llevó a cabo en una empresa del sector de bienes de consumo de alta rotación (FMCG) en Bangladesh. Los resultados demostraron que esta metodología permite evaluar de forma integral las implicaciones estratégicas de cada acción en términos de sostenibilidad, brindando a las organizaciones un marco robusto para la toma de decisiones en contextos de economías emergentes. Se concluye que este enfoque puede ser replicado en distintos sectores manufactureros como herramienta de planificación ambiental estratégica.

En este sentido, el análisis de los antecedentes revisados revela dos fenómenos centrales: por un lado, la consolidación de los FCM como técnica dominante en el modelado causal en cadenas de suministro; y por otro, la ausencia de enfoques que integren explícitamente la dimensión de indeterminación que caracteriza los entornos VUCA. Esto plantea la necesidad de desarrollar investigaciones comparativas que contrasten los FCM con los NCM, no solo en términos lógicos y técnicos, sino también desde su aplicabilidad, precisión predictiva y valor práctico en la gestión estratégica. Al identificar esta laguna teórica y metodológica, la presente tesis busca aportar una revisión sistemática que permita evaluar con rigurosidad las capacidades representacionales de ambos enfoques, generando conocimiento útil tanto para el desarrollo académico como para su aplicación en el diseño de cadenas de suministro resilientes, sostenibles y adaptativas.

1.2 Bases teóricas / conceptuales

1.2.1 Qué es Mapa Cognitivo

En la administración de sistemas complejos, marcados por gran incertidumbre, ambigüedad e interrelación entre variables, los mapas cognitivos se han establecido como un instrumento metodológico esencial para ilustrar un conocimiento causal estructurado. De acuerdo con Axelrod (1976), el conocimiento causal se refiere a entender como un suceso, acción o elemento impacta directamente en otro dentro de un sistema, posibilitando deducciones acerca de las relaciones entre causa y efecto. Bajo esta perspectiva, los mapas

cognitivos proporcionan una ilustración visual donde los conceptos esenciales se ilustran como nodos, y las relaciones causales entre estos se ilustran a través de arcos dirigidos que pueden ser positivos o negativos, dependiendo del tipo de influencia aplicada (Karatzinis & Boutalis, 2025).

La importancia analítica de los mapas cognitivos se basa en su habilidad para interpretar la lógica que subyace a las decisiones estratégicas y a las conductas organizacionales, particularmente en situaciones donde coexisten varios factores interrelacionados. Como indica Kosko (1986), su beneficio no se restringe a una simple representación de relaciones, sino que permite la detección de ciclos de retroalimentación, estructuras causales predominantes y áreas críticas del sistema, fortaleciendo la toma de decisiones fundamentada en pruebas estructuradas.

En el ámbito de las cadenas de suministro, su uso facilita la ilustración gráfica de la interconexión entre elementos vinculados a la resiliencia como la adaptabilidad, visibilidad, flexibilidad y la sostenibilidad como el rendimiento ambiental, social y económico, bajo circunstancias de gran complejidad, contradicción o información incompleta (Bevilacqua et al., 2020).

El uso de mapas cognitivos en el análisis de sistemas complejos proporciona diversas ventajas analíticas tales como:

- Organización de conocimiento estructurado: facilita la representación gráfica de relaciones causales entre múltiples variables, interpretando la estructura del sistema estudiado (Karatzinis & Boutalis, 2025).
- Reconocimiento de variables de alta causalidad: permite identificar componentes del sistema que funcionan como motores de cambio o indicadores de impacto, lo que resulta crucial en procesos de planificación estratégica (Kosko, 1986).
- Incorporación del criterio experto: facilita la incorporación de saber no estructurado fundamentado en la experiencia directa de los actores principales, un elemento particularmente beneficioso en situaciones donde los datos numéricos son escasos o inconsistentes (Felix et al., 2019).

- Flexibilidad de análisis: los mapas cognitivos pueden fusionarse con técnicas de participación o técnica de análisis estructurado como el método Delphi o el Análisis de jerarquía Analítica, incrementando así la profundidad del análisis (Roy et al., 2020; Shokouhyar et al., 2019).
- Soporte para la creación de escenarios: al ilustrar de manera precisa las interrelaciones entre variables, facilitan la simulación de transformaciones sistemáticas y la evaluación de potenciales rutas de comportamiento organizacional (Paraskevas et al., 2025).

1.2.2 Mapa Cognitivo Difuso

Los mapas cognitivos difusos son un instrumento de modelación tanto cuantitativa como semicuantitativa que amplía el marco teórico de los mapas cognitivos convencionales a través de la inclusión de la lógica difusa. Esta incorporación conceptual, propuesta por Kosko (1986), posibilita no solo ilustrar el sentido de la relación causal entre conceptos, sino también su nivel de intensidad, empleando valores constantes dentro del intervalo $[-1, 1]$.

En este esquema cada nodo simboliza una idea, suceso o variable del sistema, mientras que los arcos orientados entre nodos representan influencias causales que pueden ser de naturaleza positiva, negativa o neutra. La cantidad asignada a cada arco determina la intensidad y naturaleza de tal relación, permitiendo representar tanto relaciones débiles como fuertes, lineales o no lineales, e incluso interacciones reversibles (Karatzinis & Boutalis, 2025).

La lógica difusa que se incluye en los mapas cognitivos difusos se fundamenta en los principios definidos por Zadeh (1965), facilitando la gestión de valores inciertos, dudosos o intermedios que no cumplen con los criterios binarios tradicionales. Esta particularidad es particularmente significativa en situaciones donde las conexiones entre variables no pueden establecerse con total certeza, como sucede a menudo en contextos socioeconómicos, organizativos o estratégicos.

Por lo tanto, los mapas cognitivos difusos se han establecido como un método adecuado para reflejar el saber especializado en campos marcados por incertidumbre, fragmentación de datos o variedad de criterios, dado que

posibilitan la formalización de estructuras causales sin la necesidad de información estadística completa (Shokouhyar et al., 2019).

La técnica de los mapas cognitivos difusos ha sido reconocida en la literatura por su utilidad en el análisis de fenómenos caracterizados por múltiples interacciones causales y condiciones de información incompleta. Este enfoque proporciona ventajas específicas que lo posicionan como una herramienta idónea en investigaciones relacionadas con la gestión estratégica, particularmente en entornos operativos inciertos y de alta complejidad como las cadenas de suministro. La lógica difusa introducida por Zadeh (1965), permite modelar fenómenos graduales en los que los conceptos no son binarios (sí o no), sino que presentan grados de pertenencia. En caso de los mapas cognitivos difusos:

- Cada peso causal es un valor difuso $w \in [-1, 1]$;
- Los nodos pueden tener estados continuos entre 0 (mínima activación) y 1 (máxima activación);
- La evolución del sistema se simula mediante un proceso iterativo en el que el estado de cada nodo se actualiza en función de los pesos difusos y los estados de los nodos conectados.

Esto permite representar y simular sistemas dinámicos, donde los conceptos interactúan de forma no lineal, con retroalimentaciones y adaptaciones, características comunes de las cadenas de suministro modernas.

Beneficios de los mapas cognitivos difusos en sistemas complejos:

- Modelación de relaciones no lineales: permite representar bucles de retroalimentación, efectos acumulativos y relaciones circulares, características típicas de sistemas reales.
- Incorporación del juicio experto: los mapas cognitivos difusos se construyen a partir de conocimiento experto, permitiendo capturar percepciones cualitativas cuando no existen datos cuantitativos confiables.

- Tolerancia a la ambigüedad: la lógica difusa permite representar relaciones imprecisas, ambiguas o vagas, comunes en la evaluación de sostenibilidad y resiliencia.
- Análisis dinámico: se pueden simular distintos escenarios futuros, analizando cómo evolucionan los estados de los nodos bajo diferentes condiciones iniciales.
- Integración con métodos multicriterio: Se puede complementar con FAHP, DEMATEL, Delphi, etc., para fortalecer la validación de factores y relaciones.
- Representación visual accesible: los modelos difusos permiten construir representaciones gráficas comprensibles que ayudan a la comunicación de resultados en entornos organizacionales.

1.2.3 Mapa Cognitivo Neutrosófico

Los Mapas Cognitivos Neutrosóficos representan una evolución conceptual y técnica respecto a los modelos de mapas cognitivos convencionales y sus versiones difusas. Esta metodología se fundamenta en los principios de la lógica neutrosófica, que permite abordar de manera simultánea tres aspectos diferenciados de cualquier afirmación: su grado de veracidad, su grado de falsedad y su nivel de indeterminación (Kandasamy & Smarandache, 2003).

A diferencia de los enfoques anteriores, que expresan las relaciones causales mediante valores binarios o numéricos dentro de un rango continuo, los mapas cognitivos neutrosóficos utilizan una estructura tripartita denominada tripleta neutrosófica, compuesta por tres componentes:

- T, que indica cuánto se considera cierta una relación entre conceptos;
- F, que refleja el nivel en que esa relación se percibe como falsa o inválida;
- I, que representa la parte incierta o indefinida del vínculo, ya sea por contradicción, ambigüedad o carencia de información.

Este formato permite modelar relaciones causales en sistemas donde los datos disponibles o las valoraciones expertas no se alinean con certeza ni consenso. Así, los mapas neutrosóficos son capaces de conservar la

complejidad inherente al conocimiento experto sin reducirla a una sola dimensión. En este marco, las relaciones no requieren cumplir una suma total fija entre las tres componentes, lo que aporta una mayor libertad de representación frente a los modelos difusos tradicionales (Karatzinis & Boutalis, 2025).

En términos gráficos, los mapas neutrosóficos están conformados por un conjunto de nodos que representan conceptos, y por arcos orientados que indican relaciones causales entre estos. Cada arco está caracterizado por una tripleta (T, I, F), que se recoge en una matriz de adyacencia neutrosófica. Este enfoque no sólo permite representar relaciones con certeza positiva o negativa, sino también incorporar explícitamente la indeterminación, sin necesidad de reducirla mediante técnicas de normalización o consenso, como ocurre en otros enfoques (Kandasamy & Smarandache, 2003).

La introducción de este tipo de modelado responde a la necesidad de representar sistemas en las que las relaciones causales no pueden ser establecidas de manera clara ni unívoca, ya sea por la falta de datos, la multiplicidad de opiniones expertas o la complejidad inherente del sistema. Esta característica convierte a los mapas cognitivos neutrosóficos en una herramienta útil para entornos de alta incertidumbre y ambigüedad lógica, donde los modelos difusos convencionales no son suficientes para capturar adecuadamente la estructura del conocimiento.

Beneficios específicos de los mapas cognitivos neutrosóficos

- Fortalecimiento de la toma de decisiones estratégicas: permite modelar el impacto dinámico de múltiples factores en sistemas con alto grado de incertidumbre.
- Representación tridimensional del conocimiento causal: captura simultáneamente evidencia, contradicción e incertidumbre. Esto es fundamental para decisiones bajo información incompleta.
- Modelo robusto frente a la diversidad de criterios: integra juicios divergentes entre expertos sin forzar consenso artificial.

- Análisis de influencia funcional: permite identificar qué factores son impulsores, receptores o mediadores, a partir de sus grados de entrada, salida y centralidad.
- Normalización e interpretación cuantitativa: Mediante técnicas de desneutrosificación, es posible asignar valores numéricos operativos a las tripletas neutrosóficas para análisis comparativo.

La representación de relaciones causales en sistemas complejos como las cadenas de suministro sostenibles y resilientes exige el uso de herramientas metodológicas capaces de gestionar distintos niveles de incertidumbre, ambigüedad y datos incompletos. En esta línea, los Mapas Cognitivos Difusos y los Mapas Cognitivos Neutrosóficos han sido identificados como métodos pertinentes para modelar interacciones estructuradas en entornos caracterizados por alta volatilidad e imprevisibilidad. No obstante, aunque comparten ciertas similitudes estructurales, difieren significativamente en su capacidad para representar imprecisión, contradicción e indeterminación. Con el fin de esclarecer estas diferencias y facilitar su análisis comparativo, a continuación, se presenta la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** que contrasta los principales atributos, fundamentos lógicos, aplicaciones y limitaciones de ambos enfoques.

Tabla 1

Comparación de los Mapas Cognitivos Difusos y Mapas Cognitivos Neutrosóficos

Criterio	Mapas Cognitivos Difusos	Mapas Cognitivos Neutrosóficos
Fundamento lógico	Basados en lógica difusa, permite modelar la intensidad y dirección de relaciones causales mediante grados de pertenencia.	Basado en la lógica neutrosófica, representa simultáneamente grados de verdad, falsedad e indeterminación en cada relación.
Representación causal	Se representa mediante un único valor difuso $w \in [-1, 1]$.	Se representa con una tripleta neutrosófica (T, I, F).
Gestión de la incertidumbre	Captura incertidumbre leve.	Representa incertidumbre

Tolerancia de contradicción	Requiere homogenizar o suavizar valoraciones inconsistentes.	estructural, contradicción e ignorancia. Integra y conserva valoraciones divergentes sin forzar consenso.
Expresividad del modelo	Representa relaciones lineales y no lineales con pesos continuos.	Amplía la expresividad al distinguir entre certeza, falsedad e indeterminación.

Nota: Esta tabla resume las principales diferencias metodológicas y operativas entre los mapas cognitivos difusos y mapas cognitivos neutrosóficos, de acuerdo con los planteamientos de (Kandasamy & Smarandache, 2003; Kosko, 1986; Zadeh, 1965). La lógica difusa permite modelar incertidumbre en términos de gradualidad, mientras que la lógica neutrosófica incorpora explícitamente la coexistencia de certeza, falsedad e indeterminación.

1.3 Marco Metodológico

1.3.1 Modalidad básica de la investigación

La Revisión Sistemática de la Literatura (SRL) es un procedimiento metodológico orientado a recopilar, examinar y sintetizar de forma estructurada la evidencia científica publicada sobre una temática delimitada. Este enfoque, fundamentado en protocolos replicables y objetivos, permite reducir el riesgo de sesgo en la selección de fuentes y garantiza la transparencia del proceso analítico (Tranfield et al., 2003). Su utilización resulta particularmente pertinente cuando se requiere establecer comparaciones metodológicas entre enfoques teóricos, como en el caso del análisis de Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) en el ámbito de la gestión de cadenas de suministro.

La SRL posibilita una revisión exhaustiva de cómo estas dos herramientas han sido implementadas en diferentes contextos, permitiendo documentar sus fundamentos operativos, sus alcances técnicos, y los entornos de aplicación. Asimismo, permite clasificar las investigaciones según la lógica utilizada (clásica,

difusa o neutrosófica), las técnicas auxiliares asociadas al modelado causal, y los criterios empleados para representar las relaciones entre variables dentro de sistemas complejos.

Este tipo de revisión también aporta una visión sistematizada sobre la evolución del uso de los FCM, cuya aplicación ha sido amplia y diversa en el modelado de factores en contextos logísticos, frente a los NCM, que se presentan como una propuesta emergente con mayor capacidad para incorporar formalmente la indeterminación estructural en el análisis de información incierta o contradictoria (González Ortega et al., 2019; Kandasamy & Smarandache, 2003). A partir del mapeo detallado de los estudios existentes, la SRL permite evidenciar que, mientras los FCM han sido ampliamente utilizados para representar interdependencias causales bajo lógica difusa, la aplicación directa de NCM en cadenas de suministro aún es limitada, lo cual representa una oportunidad clara para el desarrollo metodológico.

Es por eso por lo que la SRL no solo organiza el conocimiento disponible de forma crítica, sino que además delimita los campos de aplicación, identifica vacíos conceptuales y ofrece insumos teóricos para la formulación de propuestas metodológicas comparativas. Por lo tanto, su adopción resulta fundamental para sustentar el análisis diferenciado de los FCM y NCM, y para justificar el uso de modelos cognitivos capaces de representar, con mayor precisión, la complejidad inherente a los sistemas logísticos modernos.

Una vez delimitado el propósito y enfoque de la revisión, el proceso metodológico se estructuró siguiendo las fases que conforman una Revisión Sistemática de la Literatura, las cuales garantizan un análisis riguroso, transparente y replicable del uso comparativo de los Mapas Cognitivos Difusos y Neutrosóficos en la gestión de cadenas de suministro.

- **Formulación de la pregunta de investigación:** consiste en establecer de manera precisa el planteamiento que guiará el proceso de revisión. Se definen las preguntas principales de investigación y se delimitan los criterios que orientarán la selección y análisis de los estudios. Esta etapa permite focalizar el alcance temático y metodológico del trabajo.

- **Búsqueda de la bibliografía pertinente:** corresponde a la localización de la literatura relevante. Se diseñan estrategias de búsqueda utilizando descriptores normalizados y operadores booleanos que permitan identificar publicaciones científicas pertinentes dentro de bases de datos especializadas. El objetivo es conformar un conjunto documental exhaustivo y alineado con el propósito del estudio.
- **Selección y evaluación de la bibliografía:** implica aplicar filtros sistemáticos para seleccionar y depurar los documentos obtenidos. Se emplean criterios de inclusión y exclusión previamente definidos, considerando aspectos como calidad metodológica, actualidad, pertinencia temática y tipo de fuente. Esta fase garantiza que el análisis posterior se base en evidencia académica sólida y representativa.
- **Análisis y síntesis de la información:** abarca el análisis crítico del contenido de los estudios seleccionados. Se examinan los enfoques metodológicos, técnicas utilizadas, resultados obtenidos y limitaciones identificadas en cada investigación. Se organiza y sintetiza la información con el fin de identificar patrones, contrastes y vacíos relevantes para el objeto de estudio.
- **Comunicación y utilización de los resultados:** está orientada a sistematizar los hallazgos y derivar implicaciones teóricas o metodológicas. Se presentan los resultados de manera estructurada, destacando las contribuciones del conocimiento existente y justificando la necesidad de futuras investigaciones. Esta fase permite integrar los aportes de la literatura en una propuesta coherente y fundamentada.

1.3.2 Enfoque

Desde una perspectiva metodológica, el presente estudio adopta un enfoque comparativo y analítico, fundamentado en la Revisión Sistemática de la Literatura (SRL). En términos generales, su propósito es examinar de forma estructurada las diferencias conceptuales, operativas y lógicas entre los Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM), en su aplicación a la gestión de cadenas de suministro. A partir de esta comparación, se busca comprender cómo cada técnica representa relaciones causales bajo

condiciones de complejidad, incertidumbre e información contradictoria, propias de los entornos logísticos actuales.

En primer lugar, se establece que la investigación se desarrolla exclusivamente sobre fuentes secundarias, sin la incorporación de recolección de datos empíricos, lo cual posiciona el enfoque dentro de la categoría de estudios documentales, cualitativos y no experimentales. En consecuencia, la estrategia metodológica se orienta a identificar patrones de aplicación, criterios de modelado, lógicas formales utilizadas (difusa en el caso de FCM y neutrosófica en NCM), así como las ventajas y limitaciones reportadas en la literatura especializada.

Además, el análisis permite detectar vacíos relevantes en la producción científica, como la escasa utilización de NCM en contextos logísticos, a pesar de su capacidad para incorporar grados simultáneos de verdad, falsedad e indeterminación. Esta constatación refuerza la pertinencia del enfoque comparativo, en tanto posibilita argumentar la necesidad de adoptar modelos más robustos para representar dinámicas causales en sistemas sujetos a ambigüedad y contradicción.

Este enfoque no solo proporciona una sistematización rigurosa del conocimiento existente, sino que también ofrece una base teórica sólida para la formulación de propuestas metodológicas futuras. Así, la investigación contribuye al fortalecimiento del marco analítico aplicado a la gestión de cadenas de suministro, particularmente en escenarios donde las condiciones de certeza no pueden ser asumidas como dadas.

1.3.3 Nivel de Investigación

El nivel de investigación que caracteriza este estudio es el teórico-explicativo, en virtud de que se orienta a examinar y contrastar de manera sistemática dos enfoques metodológicos aplicados a la representación de relaciones causales en cadenas de suministro: los Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM). Esta comparación se sustenta exclusivamente en el análisis riguroso de literatura académica

especializada, lo cual determina su naturaleza como una investigación documental y no empírica.

Desde esta perspectiva, el componente teórico se manifiesta en la estructuración y síntesis del conocimiento existente, mientras que el componente explicativo se evidencia en la identificación de las diferencias lógicas, operativas y funcionales entre ambos enfoques. En particular, el estudio permite analizar cómo cada técnica modela la causalidad en contextos caracterizados por información ambigua, incierta o indeterminada, condiciones frecuentes en los sistemas logísticos contemporáneos.

Asimismo, al tratarse de una revisión sistemática comparativa, este nivel investigativo favorece el establecimiento de criterios analíticos que permiten fundamentar la pertinencia y aplicabilidad de cada herramienta, señalando los vacíos metodológicos en la literatura, como la limitada implementación de los NCM en el ámbito de la gestión de la cadena de suministro.

En consecuencia, el nivel teórico-explicativo adoptado no solo permite ordenar de forma coherente el conocimiento previo, sino que también proporciona una base argumentativa para futuras investigaciones que requieran modelar dinámicas complejas en entornos marcados por alta incertidumbre estructural.

1.3.4 Población de Estudio

La población analizada en esta investigación está compuesta por todos los artículos científicos indexados en la base de datos Scopus, los cuales fueron seleccionados a partir de una estrategia de búsqueda bibliográfica sistemática, enfocada en estudios que aplican Mapas Cognitivos Difusos (FCM) o Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) dentro del contexto de la gestión de cadenas de suministro. Para ello, se consultaron bases de datos científicas especializadas, aplicando filtros temáticos y metodológicos que aseguran la relevancia y calidad de los documentos incluidos.

Con el propósito de facilitar el análisis comparativo, cada artículo fue examinado con base en cinco criterios específicos: el título de la publicación, el objetivo declarado, la técnica metodológica que acompaña al mapa cognitivo, el

fenómeno o proceso que modela, y el número de factores o variables consideradas. Estos elementos permitieron caracterizar detalladamente cada estudio, lo cual resulta fundamental para establecer comparaciones válidas entre ambos enfoques de modelación cognitiva.

El Capítulo 2 describe de forma estructurada la información correspondiente a los artículos seleccionados, sirviendo como instrumento de referencia para la sistematización de los datos. Esta tabla facilita la identificación de patrones, similitudes y diferencias entre las aplicaciones del FCM y del NCM, lo que fortalece el análisis crítico y la coherencia metodológica del estudio.

1.3.5 Tamaño de la Muestra

La muestra considerada en esta investigación corresponde a los 110 artículos científicos seleccionados tras aplicar un conjunto definido de criterios metodológicos, conforme a los lineamientos de una Revisión Sistemática de la Literatura. Aunque en términos cuantitativos la muestra coincide con el total de la población documental procesada, desde el punto de vista conceptual representa el subconjunto de estudios que cumplen con los requisitos específicos de inclusión, establecidos para garantizar la coherencia con los objetivos del análisis comparativo entre Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM).

En efecto, mientras que la población comprende todos los registros recuperados inicialmente mediante la estrategia de búsqueda, la muestra se conforma únicamente por aquellos artículos que abordan de manera explícita la aplicación de FCM o NCM dentro del contexto de la gestión de cadenas de suministro. Para ello, se verificó el contenido de cada documento, considerando aspectos como la claridad metodológica, la técnica asociada al modelo cognitivo, el tipo de sistema modelado y la cantidad de factores analizados.

1.3.6 Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos empleada en esta investigación se fundamenta en el levantamiento bibliográfico sistemático, ejecutado a través de búsquedas estructuradas en bases de datos académicas especializadas, complementado con el uso de herramientas de visualización bibliográfica o

buscadores gráficos. Este enfoque metodológico permitió identificar, recuperar y organizar estudios científicos pertinentes que aplican Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) en el ámbito de la gestión de cadenas de suministro.

Para ello, se diseñó una cadena de búsqueda mediante operadores booleanos y términos clave seleccionados estratégicamente. Esta cadena se aplicó en bases de datos como Scopus, generando una base inicial de registros académicos. Posteriormente, con el propósito de mejorar la precisión temática y reconocer agrupaciones de conocimiento relevantes, se incorporó el uso de buscadores gráficos como VOSviewer, los cuales permitieron visualizar redes de coocurrencia de palabras clave, vínculos entre autores y líneas de investigación predominantes.

Esta combinación de búsqueda estructurada y análisis gráfico bibliométrico no solo facilitó la depuración del corpus documental, sino que también permitió orientar con mayor exactitud la selección de artículos hacia aquellos que representaban con claridad el objeto de estudio, garantizando así la validez y pertinencia de los datos recolectados.

1.3.7 Plan de recolección de datos

El plan de recolección de datos se estructuró como un proceso secuencial orientado a identificar estudios científicos directamente vinculados al uso de Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) en la gestión de cadenas de suministro. Para ello, se aplicaron criterios de búsqueda definidos, estrategias de filtrado y herramientas de análisis gráfico que permitieron depurar y organizar los documentos relevantes. Esta planificación metodológica garantizó que la información recopilada respondiera con precisión al enfoque comparativo propuesto en la investigación.

1.3.8 Procesamiento de la Información

La información recopilada fue tratada mediante un proceso de análisis documental sistemático, orientado a organizar los elementos metodológicos y temáticos relevantes de cada publicación científica. Para ello, se construyó una matriz de extracción de datos, diseñada para registrar variables clave asociadas

al contenido de los estudios revisados, tales como el objetivo declarado, la técnica metodológica empleada, el fenómeno modelado y el número de factores considerados.

Una vez extraídos, los datos fueron clasificados y organizados de acuerdo con su estructura técnica y su enfoque de modelación causal, lo que permitió establecer comparaciones consistentes entre los distintos estudios. Esta información se consolidó en la Tabla 2, la cual actúa como base empírica para el análisis posterior. A partir de esta estructura, fue posible identificar patrones, similitudes y variaciones metodológicas, contribuyendo a una interpretación integral alineada con los objetivos planteados en la investigación.

Capítulo 2

2 Diagnóstico o Estudio de Campo

2.1 Aplicación metodológica en la literatura científica sobre Mapas Cognitivos Difusos y Mapas Cognitivos Neutrosóficos

Con el propósito de fundamentar el análisis comparativo entre los Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) en el contexto de la cadena de suministro, se diseñó una estrategia metodológica basada en una Revisión Sistemática de la Literatura (SLR). Esta revisión responde a la necesidad de identificar, clasificar y analizar los enfoques técnicos existentes, evaluando sus alcances, limitaciones y condiciones de aplicabilidad.

2.1.1 Fase 1: Formulación de la pregunta de investigación

Dado el carácter comparativo del estudio, en esta sección se establecen los criterios de búsqueda, formulando preguntas que guían el levantamiento y selección del material bibliográfico pertinente:

***PI1:** ¿Qué características metodológicas presentan los estudios que aplican Mapas Cognitivos Difusos (FCM) en la cadena de suministro, y cómo se comparan frente al enfoque ofrecido por los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM)?*

Se establecieron las siguientes sub-preguntas para profundizar con la temática de la SRL

PI1.1: ¿Qué tipo de artículos emplean exclusivamente FCM como técnica de modelado cognitivo?

PI1.2: ¿Qué estudios combinan FCM con otras técnicas complementarias?

PI1.3: ¿Existe aplicación documentada de NCM en el ámbito de la cadena de suministro?

PI1.4: ¿Cuál es la importancia de utilizar la metodología de mapas cognitivos en la gestión de la cadena de suministro ante escenarios de incertidumbre, ambigüedad e indeterminación?

PI1.5: ¿Cuáles son las diferencias estructurales y representacionales entre FCM y NCM?

Con base en estas preguntas, se desarrollaron las cinco fases del proceso de búsqueda y selección documental, adaptadas al enfoque de revisión metodológica comparativa.

2.1.2 Fase 2: Búsqueda de bibliografía pertinente

En esta fase se establecieron los parámetros fundamentales para la búsqueda bibliográfica. Se definieron los siguientes criterios:

- Fuente: artículos científicos indexados en la base de datos Scopus.
- Idioma: solo publicaciones en inglés, para garantizar acceso a literatura científica global.
- Periodo de publicación: desde el año 2000 hasta marzo de 2025, considerando el desarrollo progresivo del FCM y la reciente aparición del NCM.
- Tipo de documento: se incluyeron únicamente artículos de revistas científicas con revisión por pares, excluyendo libros, capítulos y actas de congresos.

- Términos de búsqueda: se emplearon combinaciones booleanas con las palabras clave: (*“fuzzy cognitive map”* OR *“FCM”*) AND (*“supply chain”*) AND (*“uncertainty”* OR *“ambiguity”* OR *“indeterminacy”*) (*“neutrosophic cognitive map”* OR *“NCM”*) AND (*“supply chain”*)

Esta estructura permitió abarcar tanto estudios que aplican FCM como aquellos que, en menor medida, podrían abordar NCM, incluso indirectamente.

2.1.3 Fase 3: Selección y evaluación de la bibliografía

Una vez recolectado el material bibliográfico, se procedió a una revisión sistemática y manual de los artículos, clasificándolos en dos categorías principales:

- Artículos que utilizan únicamente FCM como técnica principal de representación cognitiva.
- Artículos que combinan FCM con otras técnicas, tales como AHP, DEMATEL, VIKOR, TOPSIS, entre otras.

Esta clasificación no solo responde a la pregunta *PI1.1* y *PI1.2*, sino que permite identificar el grado de complejidad de cada enfoque y la forma en que el FCM es integrado como herramienta base o como componente de modelos híbridos.

2.1.4 Fase 4: Análisis y síntesis de la información

En esta fase, se analizaron los enfoques lógicos subyacentes a cada técnica. En todos los artículos identificados, se constató que el FCM se aplica bajo lógica difusa, lo que permite representar grados de influencia entre factores dentro del intervalo $[-1,1]$.

Por el contrario, ningún artículo aplicó Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) de manera directa en el contexto de la cadena de suministro. No obstante, se identificaron referencias teóricas o aplicaciones parciales del enfoque neutrosóficos en otros ámbitos vinculados.

Se destaca la importancia del uso de mapas cognitivos como herramientas que permiten estructurar sistemas complejos bajo incertidumbre,

reconociendo que el FCM cumple esta función parcialmente, mientras que el NCM ofrece un enfoque más amplio aún no explorado en este campo.

Esta fase respondió directamente a las preguntas *PI1.3* y *PI1.4*, al delimitar con claridad el tipo de lógica empleada y el grado de representación alcanzado por cada enfoque.

2.1.5 Fase 5: Comunicación y utilización de los resultados

A partir de la información recolectada, se desarrolló un análisis comparativo preliminar. Se observó que, mientras el FCM permite simular relaciones causales con niveles intermedios de influencia, su estructura no contempla la indeterminación estructural, lo que constituye una limitación en entornos donde existen contradicciones o falta de consenso entre expertos.

En cambio, los NCM, aunque no aplicados directamente en los estudios recuperados ofrecen una estructura tripartita (T, I, F) que representa simultáneamente verdad, falsedad e indeterminación. Esto permite capturar mayor complejidad cognitiva en la representación de sistemas ambiguos o conflictivos, lo cual responde a la pregunta *PI1.5*.

Finalmente, se consolidó el corpus bibliográfico, seleccionando únicamente los artículos que cumplieran con los objetivos de esta revisión. Se descartaron los trabajos que no aplicaban FCM en el contexto de la cadena de suministro o que no abordaban estructuras de modelación cognitiva. Asimismo, se registró la ausencia de aplicaciones directas de NCM, lo que representa una oportunidad metodológica y no una limitación.

Esta fase permitió cerrar el proceso de búsqueda con una base documental sólida y depurada, que será utilizada en las siguientes secciones para desarrollar el análisis estructural y comparativo entre ambas técnicas.

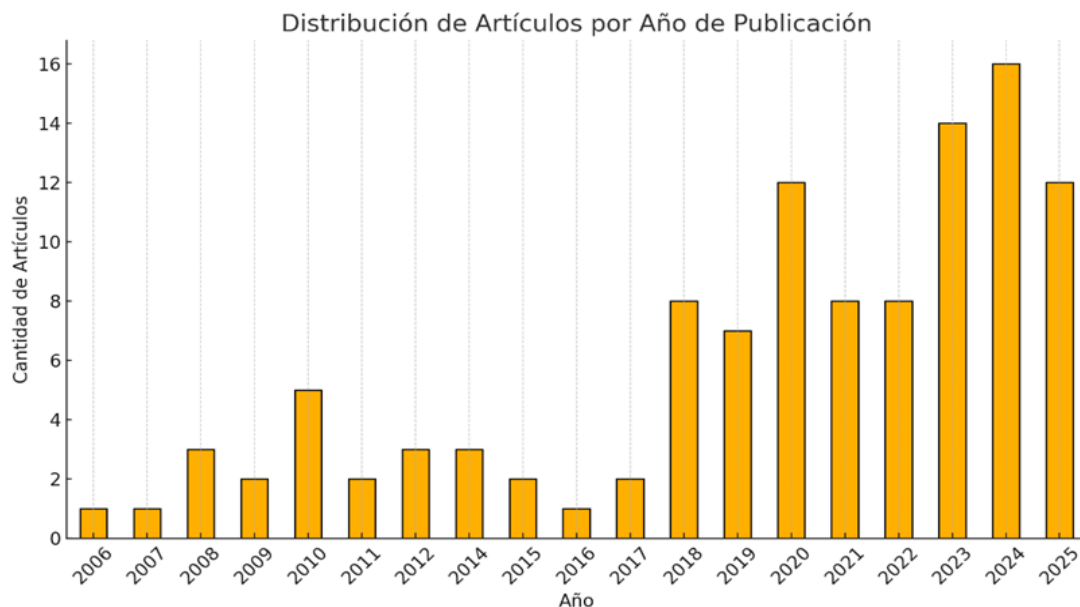
2.2 Análisis descriptivo

El análisis bibliométrico de los artículos recolectados permite identificar las principales características de la producción científica en torno al uso de mapas cognitivos en la gestión de la cadena de suministro. La distribución temporal de las publicaciones revela un incremento progresivo del interés

investigativo en los últimos años. Aunque se encuentran artículos dispersos desde años anteriores, es a partir del 2020 cuando se evidencia una mayor concentración de publicaciones, alcanzando su punto máximo en 2023 y 2024 (ver Figura 1). Este crecimiento puede estar asociado a la necesidad de incorporar enfoques de modelado flexible ante entornos inciertos y disruptivos en los sistemas logísticos.

Figura 1

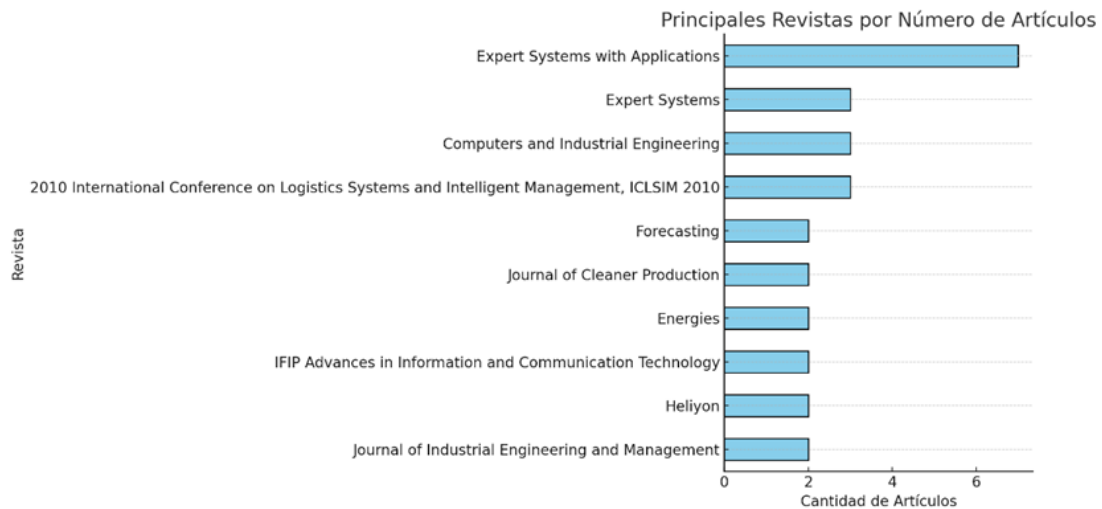
Distribución de artículos por año de publicación



En cuanto a las revistas científicas, la producción se encuentra distribuida en una amplia variedad de fuentes, lo cual refleja la naturaleza interdisciplinaria del tema. No obstante, destacan como principales medios de difusión el Journal of Cleaner Production, Expert Systems y Technological Forecasting and Social Change, que concentran el mayor número de artículos (Figura 2). Estas revistas se caracterizan por abordar temáticas relacionadas con sostenibilidad, inteligencia computacional y planificación tecnológica, áreas que convergen en el estudio de las cadenas de suministro inteligentes.

Figura 2

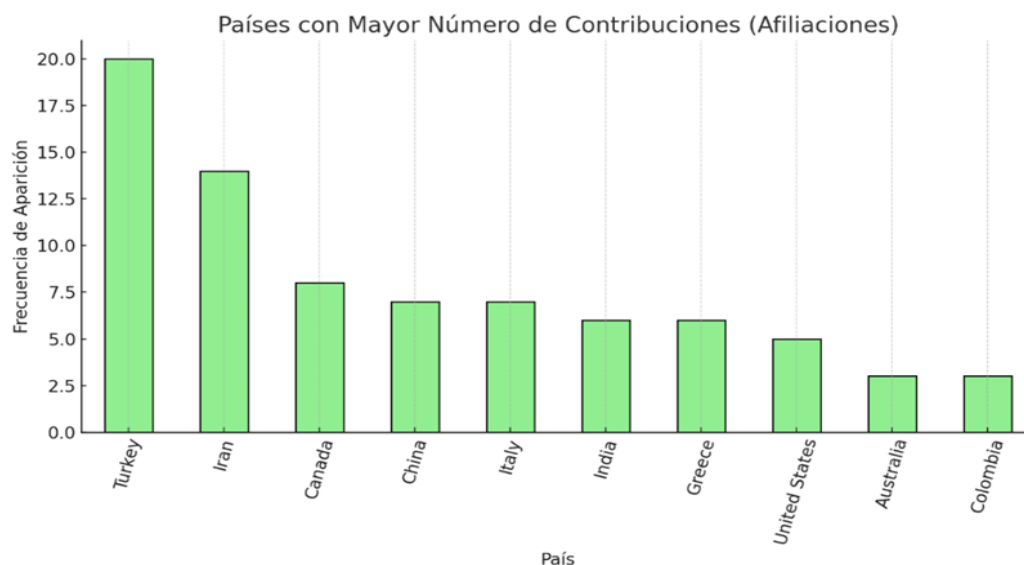
Principales revistas con mayor número de publicaciones sobre cadenas de suministro



Respecto a la procedencia geográfica, el análisis de las afiliaciones institucionales de los autores muestra una fuerte participación de países como China, India, Irán e Italia, evidenciando un liderazgo investigativo desde regiones que han priorizado la transformación digital y resiliente de sus cadenas de suministro (Figura 3). La diversidad geográfica también sugiere una proyección global de la problemática y su abordaje en distintos contextos económicos y organizacionales.

Figura 3

Países con mayor número de contribuciones



Por último, el análisis de autoría identifica a Yousefi S., Ciarapica F.E., Bevilacqua M., Mazzuto G. y Marcucci G. como los investigadores con mayor número de contribuciones dentro del corpus analizado (Figura 4). Estos autores han abordado la integración de mapas cognitivos con otras metodologías analíticas y de optimización para fortalecer la toma de decisiones en la cadena de suministro bajo condiciones de incertidumbre.

Figura 4

Autores con mayor número de publicaciones

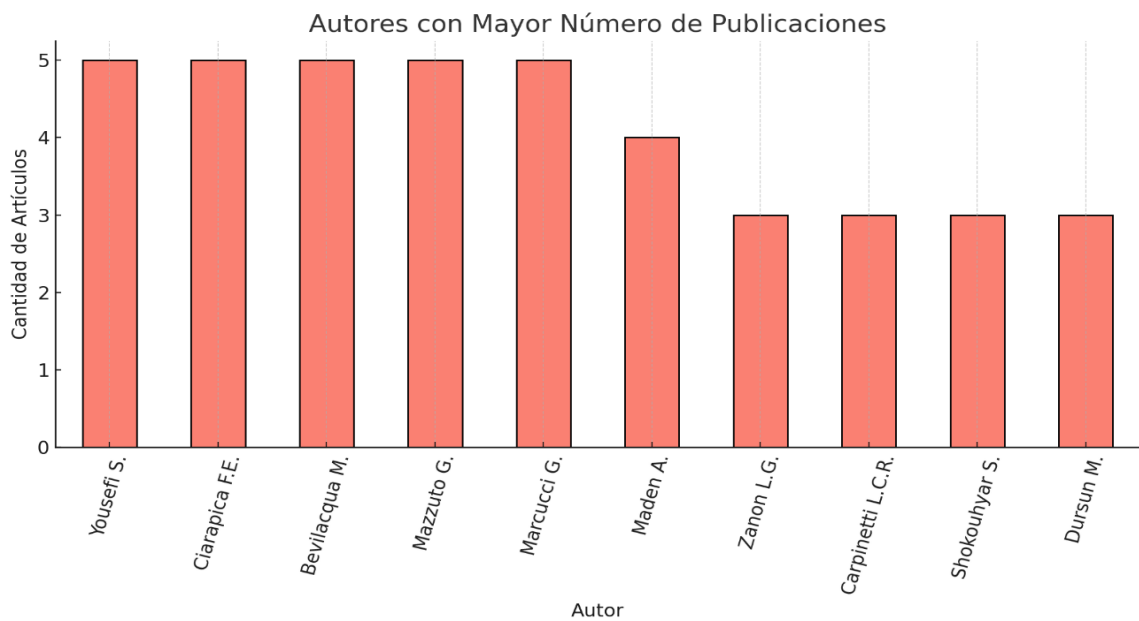
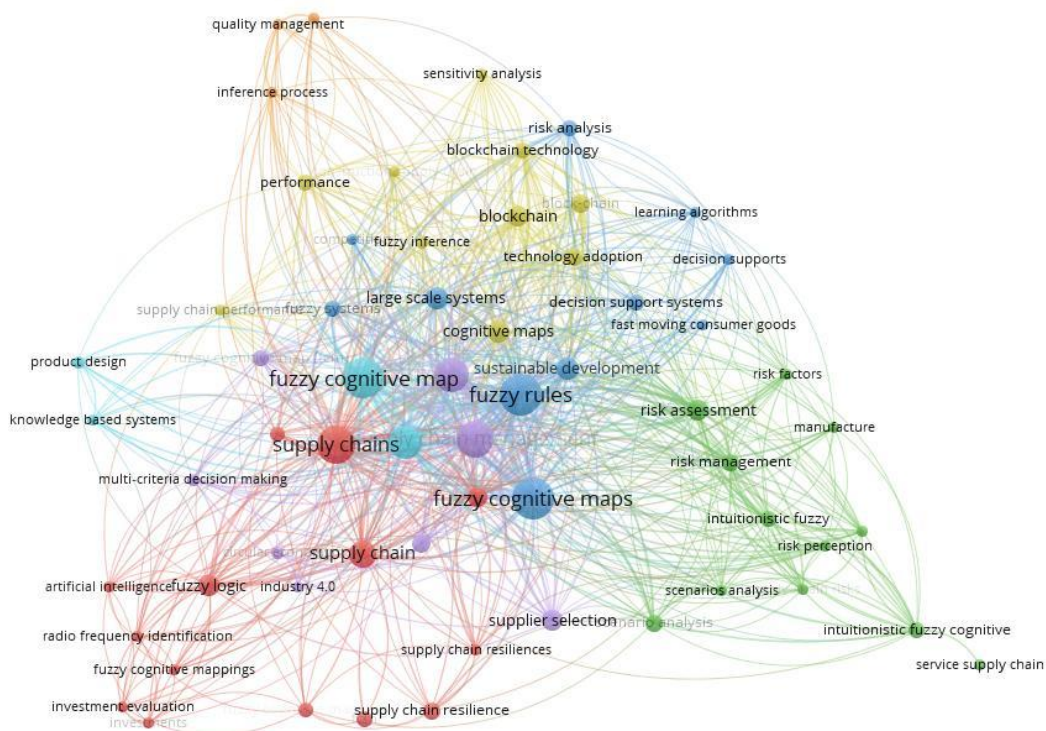


Figura 5

Análisis bibliométrico



El análisis bibliométrico mediante mapeo de coocurrencia de palabras clave constituye una herramienta esencial para visualizar las temáticas dominantes, la interrelación entre conceptos y las líneas de investigación emergentes en un campo específico. En el presente estudio, se utilizó el software VOSviewer para generar un mapa de coocurrencias basado en las palabras clave extraídas de los 110 artículos seleccionados en la revisión sistemática. La visualización obtenida permite observar de manera estructurada la red semántica en torno al uso de Mapas Cognitivos Difusos (FCM) en la gestión de cadenas de suministro.

La figura presenta una red de nodos donde cada término representa una palabra clave frecuente en los estudios analizados. El tamaño del nodo está asociado a la frecuencia de aparición del término, mientras que la proximidad y el grosor de las líneas indican la fuerza de asociación entre los conceptos. A

partir del análisis visual, se identifican cuatro clústeres temáticos principales, diferenciados por color, que agrupan los estudios según sus focos conceptuales:

- Clúster rojo (Transformación tecnológica y sostenibilidad): Incluye términos como supply chain, blockchain, technology adoption, y performance. Esta agrupación refleja el creciente interés en evaluar el impacto de tecnologías emergentes y soluciones digitales sobre la eficiencia, trazabilidad y sostenibilidad de las cadenas de suministro.
- Clúster azul (Lógica difusa y soporte a decisiones): Articula palabras clave como fuzzy cognitive maps, fuzzy rules, multi-criteria decision making y decision support systems, lo cual indica un enfoque metodológico centrado en la construcción de modelos causales y la representación estructurada del conocimiento experto bajo lógica difusa.
- Clúster verde (Gestión del riesgo y análisis prospectivo): Este grupo incorpora términos como risk management, risk assessment, scenarios analysis y uncertainty, resaltando el uso de FCM para identificar factores críticos de riesgo, simular impactos y proponer estrategias de mitigación en entornos logísticos volátiles.
- Clúster amarillo (Modelos emergentes y resiliencia organizacional): Compuesto por conceptos como supply chain resilience, investment evaluation y radio frequency identification, este grupo evidencia líneas de investigación orientadas a fortalecer la resiliencia mediante el uso de tecnologías de monitoreo e inteligencia operativa.

La densidad de conexiones entre nodos centrales como fuzzy cognitive maps y supply chain evidencia la consolidación de un núcleo temático robusto en la literatura. Asimismo, la interrelación entre conceptos como fuzzy logic, blockchain y resilience sugiere un campo en proceso de integración metodológica, en el que los FCM se posicionan como herramienta versátil para abordar problemáticas contemporáneas.

Por lo tanto, el mapeo bibliométrico revela que la investigación en torno al uso de FCM en cadenas de suministro se estructura en torno a tres dimensiones clave: (1) desarrollo metodológico basado en lógica difusa, (2) aplicación en

análisis de riesgos y toma de decisiones, y (3) vinculación con tecnologías emergentes orientadas a la sostenibilidad y la resiliencia. Esta representación gráfica complementa el análisis cuantitativo realizado en secciones previas y aporta una perspectiva cualitativa sobre la estructura cognitiva de la producción científica analizada.

Capítulo 3

3 Propuesta de Mejora

3.1 Incertidumbre en cadenas de suministro: enfoques conceptuales para la comparación de modelos cognitivos

En la actualidad, las cadenas de suministro operan en entornos caracterizados por volatilidad, incertidumbre, complejidad y ambigüedad condiciones que configuran el escenario VUCA (Grzybowska & Tubis, 2022). Como consecuencia, las organizaciones requieren herramientas metodológicas que no solo representen relaciones causales, sino que también permitan modelar información incompleta, subjetiva o contradictoria. En este marco, surgen los Mapas Cognitivos Difusos (FCM) y los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM), cuyas capacidades de representación en entornos inciertos son objeto de análisis y comparación en la presente investigación.

Por una parte, los FCM, fundamentados en la lógica difusa de Zadeh (1965), permiten representar la intensidad de las relaciones causales mediante valores continuos en el intervalo $[-1, 1]$, lo cual resulta útil para modelar juicios expertos, cuando no se dispone de información precisa (Bevilacqua et al., 2020; Sahu et al., 2017). Esta técnica ha sido empleada ampliamente para simular escenarios complejos en cadenas de suministro, permitiendo analizar el comportamiento de sistemas ante múltiples factores interdependientes (Kayikci, 2020). No obstante, su estructura lógica no contempla de manera explícita la gestión de contradicciones o la indeterminación estructural, lo que limita su aplicabilidad en contextos donde las fuentes de información presentan valoraciones divergentes (Chakraborty et al., 2018).

Por otra parte, los NCM constituyen una extensión de los FCM al incorporar la lógica neutrosófica la cual permite representar de forma simultánea el grado de verdad (T), falsedad (F) e indeterminación (I) en cada relación causal. Esta capacidad permite abordar con mayor precisión los escenarios en los que coexisten incertidumbre, ambigüedad e incluso contradicción entre expertos o fuentes de datos (Abdel-Basset et al., 2019; Kandasamy & Smarandache, 2003). En consecuencia, los NCM resultan especialmente útiles para representar fenómenos complejos y dinámicos, como los que se presentan en las decisiones logísticas bajo condiciones VUCA (Ivanov & Dolgui, 2021).

Además, mientras que los FCM han demostrado utilidad en estudios donde la incertidumbre es moderada y la ambigüedad puede ser traducida a grados de pertenencia (Bevilacqua et al., 2020; Shukla & KC, 2023), los NCM ofrecen un nivel de granularidad mayor al incorporar explícitamente la indeterminación como variable analítica, evitando simplificaciones forzadas de sistemas con múltiples interpretaciones posibles (González Ortega et al., 2019).

En síntesis, este apartado no se centra en analizar dimensiones específicas como resiliencia o sostenibilidad, sino en evaluar comparativamente las capacidades metodológicas de los FCM y NCM para modelar la incertidumbre en las cadenas de suministro. Esta comparación resulta pertinente, ya que permite establecer cuál de estos enfoques ofrece una representación más fiel y operativa de los escenarios reales, caracterizados por datos incompletos, percepciones contradictorias y alto grado de indeterminación estructural (Ageeli, 2024; Kamal et al., 2023).

3.2 Tipos de lógica para representar la incertidumbre en modelos cognitivos

En el análisis y modelación de sistemas complejos como las cadenas de suministro, la incertidumbre se manifiesta de diversas formas, desde datos incompletos hasta contradicciones explícitas entre fuentes. Por ello, se hace indispensable contar con enfoques lógicos que permitan representar con mayor fidelidad esta complejidad estructural. En este sentido, las lógicas clásicas, difusas y neutrosóficas ofrecen diferentes capacidades para modelar información

en contextos marcados por la ambigüedad, la indeterminación y la falta de certeza.

En primer lugar, la lógica clásica también conocida como lógica bivalente se basa en el principio de que toda proposición solo puede ser verdadera o falsa (Moore, 1979). Si bien su simplicidad ha sido útil en sistemas deterministas, su aplicabilidad resulta limitada en contextos donde la información no es binaria, sino continua, ambigua o incierta. Debido a ello, su uso en la representación de relaciones causales en entornos VUCA es restringido, ya que no permite reflejar matices ni niveles intermedios de influencia.

A continuación, la lógica difusa, desarrollada por Zadeh (1965), introdujo una alternativa más flexible al permitir que un elemento pertenezca a un conjunto en distintos grados dentro del intervalo $[0,1]$. Este enfoque ha sido ampliamente adoptado en el desarrollo de los Mapas Cognitivos Difusos (FCM), ya que permite modelar la intensidad de las relaciones entre conceptos en función del juicio experto o la incertidumbre subjetiva (Bevilacqua et al., 2020; Sahu et al., 2017). Así, mediante la lógica difusa, los FCM han permitido representar relaciones como “influencia baja”, “riesgo medio” o “impacto alto” en contextos donde la precisión absoluta no es viable.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la lógica difusa presenta ciertas limitaciones metodológicas. En particular, no distingue con claridad entre imprecisión, contradicción e indeterminación. Por ejemplo, cuando diversas fuentes otorgan valoraciones opuestas o cuando no existe consenso sobre una relación causal, la lógica difusa tiende a promediar dichas percepciones, lo cual puede ocultar conflictos estructurales o incertidumbre profunda (Chakraborty et al., 2018; Kandasamy & Smarandache, 2003).

Para superar estas limitaciones, surge la lógica neutrosófica, la cual introduce tres dimensiones independientes para caracterizar cada proposición: el grado de verdad (T), el de falsedad (F) y el de indeterminación (I). Esta estructura permite representar de forma explícita la coexistencia de información verdadera, falsa e incierta dentro de un mismo sistema, lo cual resulta

especialmente útil en contextos donde la ambigüedad no puede ser reducida a una única escala de pertenencia.

Por tanto, al comparar ambos enfoques, es posible afirmar que mientras la lógica difusa permite trabajar con incertidumbre leve y gradual, la lógica neutrosófica incorpora además la ambigüedad estructural y la contradicción entre percepciones expertas, lo que la convierte en una herramienta más robusta para escenarios altamente complejos (Abdel-Basset et al., 2019; González Ortega et al., 2019). Esto explica por qué los NCM, al estar fundamentados en lógica neutrosófica, constituyen una evolución metodológica respecto a los FCM, permitiendo una representación más rica y matizada de las relaciones causales en la cadena de suministro.

En resumen, el tipo de lógica seleccionada para construir un modelo cognitivo incide directamente en la capacidad del sistema para representar la incertidumbre real. Por consiguiente, la elección entre FCM y NCM debe considerar no solo la cantidad de información disponible, sino también su nivel de ambigüedad, contradicción o indeterminación. En este aspecto, los NCM ofrecen un marco analítico más adecuado para escenarios VUCA, al integrar explícitamente la lógica neutrosófica y superar las restricciones conceptuales de la lógica difusa.

3.3 Técnicas relacionadas al manejo de la incertidumbre en cadenas de suministro

El análisis bibliográfico realizado evidencia un uso predominante de técnicas basadas en lógica difusa para abordar la incertidumbre en las cadenas de suministro, especialmente en la gestión de la relación entre sostenibilidad y resiliencia. Estas técnicas permiten modelar interacciones complejas, no lineales y graduales entre variables, respondiendo a la necesidad de capturar la ambigüedad e imprecisión propias de los entornos VUCA.

Entre las herramientas más empleadas destacan los Mapas Cognitivos Difusos (FCM), cuya estructura permite representar relaciones causales entre factores clave mediante ponderaciones que reflejan la intensidad e incertidumbre de sus conexiones. Esta técnica ha demostrado ser efectiva en contextos donde

intervienen múltiples criterios cualitativos y subjetivos, como es el caso de la evaluación de desempeño logístico o la selección de proveedores resilientes y sostenibles.

Estudios como los de Bevilacqua et al. (2020); Kayikci (2020); Shukla & KC (2023), muestran aplicaciones exitosas de FCM en industrias como la moda, la manufactura aditiva o la logística multimodal, destacando su utilidad para traducir juicios expertos en estructuras cuantificables y simular escenarios bajo condiciones inciertas. En algunos casos, estos mapas se combinan con otros enfoques como el FAHP o el pensamiento enfocado en valores (VFT), reforzando su capacidad de análisis.

Además, otras técnicas difusas como DEMATEL, ANP, TOPSIS y VIKOR también han sido aplicadas para identificar criterios clave, evaluar interdependencias y priorizar alternativas, integrando percepciones expertas en procesos de decisión multicriterio. Estas herramientas permiten manejar información lingüística, subjetiva o incompleta, común en la evaluación de estrategias de sostenibilidad y resiliencia.

Por el contrario, se observa que la lógica neutrosófica aún no ha sido ampliamente utilizada para modelar directamente las relaciones entre resiliencia y sostenibilidad. Sin embargo, su aplicación en estudios vinculados a la planificación de cadenas de suministro cerradas, farmacéuticas e internacionales evidencia su potencial para gestionar información contradictoria e indeterminada. Investigaciones recientes han implementado modelos neutrosóficos como DEMATEL, MULTIMOORA o técnicas de optimización multiobjetivo para analizar factores críticos en entornos altamente volátiles.

Esta revisión pone en evidencia que, aunque los FCM continúan siendo la técnica más recurrente, los Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) representan una alternativa metodológica promisorio. Su adopción permitiría integrar no solo la incertidumbre y vaguedad, sino también la indeterminación, ampliando la capacidad de los modelos para capturar la naturaleza ambigua de los juicios humanos y la inconsistencia de la información disponible en la cadena

de suministro. Esta transición sería clave para fortalecer la toma de decisiones estratégicas en escenarios cada vez más caóticos y volátiles.

3.4 Análisis de la literatura review

El análisis detallado de los 110 artículos recopilados mediante la revisión sistemática de la literatura permitió identificar patrones relevantes en cuanto a las técnicas metodológicas utilizadas en conjunto con los Mapas Cognitivos Difusos (FCM), así como los campos de aplicación predominantes dentro de la gestión de cadenas de suministro. Estos hallazgos constituyen la base para proponer mejoras metodológicas y orientar futuras investigaciones en este campo.

Tabla 2

Literature Review

Título del artículo	Objetivo	Técnica utilizada	Qué modela	Factor/criterio
Supply chain operation evaluation and management decision by fuzzy cognitive map model	Evaluar las operaciones logísticas y mejorar la toma de decisiones en la selección de proveedores de servicios logísticos mediante el modelado de relaciones causales entre los factores de decisión. Identificar y analizar los factores críticos que influyen en la adopción de prácticas de cadenas de suministro carbono neutrales, distinguiendo entre impulsores y barreras, y modelando sus relaciones causales.	Analytic Hierarchy Process (AHP)	Proceso de selección de proveedores logísticos en cadenas de suministro bajo condiciones de incertidumbre.	8 factores (deducidos del número de nodos conceptuales que influyen en la evaluación de proveedores, aunque el número exacto no se menciona explícitamente)
Exploring carbon neutrality in supply chains: A critical factor analysis using fuzzy delphi and fuzzy cognitive methods	Identificar y analizar los factores críticos que influyen en la adopción de prácticas de cadenas de suministro carbono neutrales, distinguiendo entre impulsores y barreras, y modelando sus relaciones causales.	Fuzzy Delphi Method (FDM)	Adopción de prácticas de gestión de cadenas de suministro carbono neutrales (Carbon Neutral Supply Chain – CNSC)	20 factores (clasificados en impulsores y barreras según el análisis de literatura y encuestas)
Unlocking blockchain's potential for	Investigar los habilitadores de adopción de	Balanced Scorecard + Critical	Impacto causal de los habilitadores de	23 habilitadores

supply chain transformation: A robust system analysis for enhanced strategic performance	blockchain en cadenas de suministro sostenibles, y cuantificar su impacto en métricas estratégicas del desempeño de la cadena de suministro mediante un enfoque de análisis sistémico robusto. Identificar los habilitadores claves para la adopción de blockchain en la cadena de suministro del sector de la construcción, y analizar su influencia causal sobre el rendimiento del sistema.	Success Factor Theory + Data Envelopment Analysis (DEA)	adopción de blockchain sobre el desempeño estratégico de la cadena de suministro	
Modeling the Enablers for Blockchain Technology Adoption in the Construction Supply Chain		Análisis de sensibilidad + Análisis dinámico	Adopción de blockchain en la cadena de suministro del sector construcción	No especificado explícitamente (habilitadores múltiples)
Interactive scenario analysis of banking credit risks in intuitive fuzzy space	Identificar y modelar los tipos de riesgo crediticio en la cadena de suministro bancaria, evaluando su impacto para la mejorar la estabilidad financiera.	IFMEA (Intuitive Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis)	Riesgos crediticios específicos en el sistema bancario (caso: Tejarat Bank, Irán)	4 riesgos clave explícitamente discutidos: contratos de carta de crédito extranjera, contratos de arrendamiento con opción de compra, facilidades a largo plazo, y cartas de crédito nacionales
Tree Seed Algorithm-based Feature Selection with Optimal Deep Learning Model for Supply Chain Management	Desarrollar un modelo inteligente de gestión de la cadena de suministro basado en selección de características y aprendizaje profundo, mejorando la eficiencia y capacidad	CNN (Convolutional Neural Network) + Tree Seed Algorithm (TSA) + Henry Gas Solubility Optimization (HGSO)	Comportamiento del sistema de gestión de la cadena de suministro para decisiones automáticas de abastecimiento bajo demanda futura	No especificado explícitamente, pero implícitamente involucra múltiples variables clasificatorias seleccionadas mediante TSA

A Strategic Roadmap to Circularization of the Turkish Textile and Ready-To-Wear Industry Within the Context of the European Green Deal	predictiva del sistema. Evaluar las principales barreras para la transición hacia una economía circular en la industria textil y de confección de Türkiye, y proponer una hoja de ruta estratégica alineada con el Pacto Verde Europeo. Desarrollar un enfoque	Entrevistas con expertos	Barreras a la circularización de la cadena de suministro textil conforme al marco de la economía circular del Pacto Verde Europeo	6 barreras principales (falta de conciencia, prioridades a corto plazo, escaso apoyo gerencial, cultura inadecuada, baja demanda, legislación inefectiva)
Implementing bargaining game-based fuzzy cognitive map and mixed-motive games for group decisions in the healthcare supplier selection	integrado para la selección de proveedores en el sector salud, que modele la complejidad del problema y la competencia entre proveedores utilizando FCM con juegos de negociación. Evaluar el impacto de la interrupción de infraestructuras críticas sobre otras infraestructuras y las cadenas de suministro, mediante un modelo de propagación de consecuencias.	Bargaining Game-based FCM (BG-FCM) + Juegos de motivos mixtos + Particle Swarm Optimization (PSO-STF)	Evaluación y selección de proveedores hospitalarios considerando relaciones causales entre criterios y competencia entre proveedores	No se especifica el número exacto, pero modela múltiples criterios de selección de proveedores (probablemente más de 10)
Assessing supply chain dependency on critical infrastructures using fuzzy cognitive maps	Evaluar el impacto de la interrupción de infraestructuras críticas sobre otras infraestructuras y las cadenas de suministro, mediante un modelo de propagación de consecuencias.	Técnicas de elicitación de conocimiento experto	Propagación del impacto de interrupciones en infraestructuras críticas sobre cadenas de suministro (especialmente bienes de consumo rápido - FMCG)	No se menciona explícitamente, pero se destacan elementos como la fuerza laboral y la vulnerabilidad relativa del sistema
Analyzing the key performance indicators of circular supply chains by hybrid fuzzy cognitive mapping and Fuzzy DEMATEL: evidence from healthcare sector	Evaluar el desempeño de cadenas de suministro circulares hospitalarias mediante el análisis de indicadores clave de desempeño (kpis) en unidades de	Fuzzy DEMATEL + Fuzzy Delphi + Revisión Sistemática de Literatura (SLR)	Relaciones causales entre kpis de desempeño en cadenas de suministro circulares del sector salud	8 indicadores clave + 16 relaciones causales entre ellos

Procurement Performance Metric Selection Using SCOR Modelling and Scenario-Based Fuzzy Cognitive Map	cuidados intensivos. Analizar y mejorar el proceso de evaluación del desempeño de las métricas de adquisiciones en una empresa, usando el modelo SCOR y FCM para abordar las relaciones complejas entre indicadores. Evaluar los riesgos en la cadena de suministro de la industria	SCOR Modelling + Scenario-Based Fuzzy Cognitive Map + Números difusos	Selección de métricas de desempeño en procesos de adquisición dentro de la cadena de suministro proyectos engineer-to-order	No especificado explícitamente; se refiere a múltiples métricas SCOR y sus relaciones
Risk Assessment for Complex Systems Based on Fuzzy Cognitive Maps: A Case of the Biopharmaceutical Industry	biofarmacéutica iraní mediante FCM y análisis de modos de falla, considerando la interdependencia de los riesgos y su impacto en elementos clave como costo, tiempo y calidad. Diseñar un mapa cognitivo que identifique y analice los factores que influyen en la reducción del efecto látigo (Bullwhip Effect) en la cadena de suministro de vacunas contra el COVID-19. Desarrollar un modelo de toma de decisiones basado en procesamiento de datos en flujo continuo para evaluar el desempeño ambiental y la resiliencia de la infraestructura	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) + Algoritmos de aprendizaje Hebbian	Riesgos en la cadena de suministro biofarmacéutica y sus efectos sobre costo, tiempo y calidad	No se especifica el número exacto, pero incluye múltiples riesgos y elementos clave del sistema (al menos 3: costo, tiempo, calidad)
Bullwhip effect reduction map for COVID-19 vaccine supply chain	Diseñar un mapa cognitivo que identifique y analice los factores que influyen en la reducción del efecto látigo (Bullwhip Effect) en la cadena de suministro de vacunas contra el COVID-19. Desarrollar un modelo de toma de decisiones basado en procesamiento de datos en flujo continuo para evaluar el desempeño ambiental y la resiliencia de la infraestructura	Analytic Hierarchy Process (AHP) + Análisis de escenarios (forward y backward)	Relaciones causales entre factores que afectan el efecto látigo en la cadena de suministro de vacunas COVID-19	13 factores seleccionados para el modelado causal (de un total de 18 identificados inicialmente)
Stream processing data decision model for higher environmental performance and resilience in sustainable logistics infrastructure	Desarrollar un modelo de toma de decisiones basado en procesamiento de datos en flujo continuo para evaluar el desempeño ambiental y la resiliencia de la infraestructura	Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)	Interrelaciones causales entre atributos que afectan la sostenibilidad y resiliencia de infraestructuras logísticas	15 dimensiones agrupadas en 3 dominios interrelacionados

Exploring the Role of Online Courses in COVID-19 Crisis Management in the Supply Chain Sector—Forecasting Using Fuzzy Cognitive Map (FCM) Models	logística sostenible. Analizar cómo los cursos en línea pueden contribuir a la gestión de crisis en el sector de la cadena de suministro durante el COVID-19, mediante la previsión de indicadores clave asociados a la visibilidad y percepción organizacional.	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Relaciones entre indicadores de popularidad y visibilidad digital (bounce rate, tráfico orgánico, tráfico con marca y sin marca, etc.) En contexto de gestión de riesgos en la cadena de suministro	5 kpis principales + hipótesis de interacción entre ellos
Fuzzy cognitive maps and grey systems theory in the supply chain management context: A literature review and a research proposal	Revisar el uso de fcms, la Teoría de Sistemas Grises (GST) y Fuzzy Grey Cognitive Maps (fgcms) en el contexto de la gestión de la cadena de suministro y proponer líneas futuras de investigación.	Grey Systems Theory (GST)	Revisión conceptual del uso de FCM, GST y FGCM en decisiones multicriterio en cadenas de suministro; se propone modelar relaciones entre cultura organizacional y desempeño logístico	No modela directamente (revisión de 71 estudios); propone modelar relaciones entre cultura organizacional y desempeño en estudios futuros
Risk Analysis of Supply Chain Quality Management in Food Industry	Identificar y analizar los riesgos relacionados con la gestión de calidad en la cadena de suministro del sector alimentario mediante FCM y el juicio de expertos. Evaluar los criterios de configuración de la cadena de suministro y comprender las interrelaciones causales entre integración, estrategias, riesgos y	Opinión de expertos de ámbito académico industrial	Riesgos en la gestión de calidad de la cadena de suministro en la industria alimentaria	30 riesgos, clasificados en tres grupos: gestión de calidad aguas arriba, interna y aguas abajo
Evaluation of supply chain configuration criteria using fuzzy cognitive map		Opinión experta + Revisión bibliográfica	Relaciones causales entre criterios de configuración de la cadena de suministro en un fabricante automotriz	No se especifica el número exacto, pero incluye múltiples criterios dentro de cuatro grandes categorías: integración, estrategia, riesgo, desempeño

Circular economy strategies for electric and electronic equipment: A fuzzy cognitive map	desempeño mediante FCM. Evaluar los impactos económicos, sociales y ambientales de la transición de un modelo de propiedad a un modelo basado en el uso (product-as-a-service) en la cadena de suministro directa e inversa de electrodomésticos. Investigar el efecto dominó (ripple effect) y la existencia de ciclos causales que afectan la resiliencia de la cadena de suministro, proponiendo un modelo conceptual para su interrupción.	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Efectos causales de la adopción de modelos de negocio circulares sobre la sostenibilidad en cadenas de suministro de productos eléctricos y electrónicos	No se indica un número exacto, pero se modelan múltiples variables en tres dimensiones: económica, ambiental y social
Conceptual model for breaking ripple effect and cycles within supply chain resilience		Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Causalidad entre factores que influyen en la resiliencia de la cadena de suministro y el efecto dominó en entornos complejos	15 ciclos causales identificados (el número de factores no se indica explícitamente, pero es significativo y multidisciplinar)
Development of causal model of sustainable hospital supply chain management using the intuitionistic fuzzy cognitive map (IFCM) method	Identificar los conceptos clave que influyen en la sostenibilidad de la cadena de suministro hospitalaria y desarrollar un modelo causal para su gestión sostenible.	Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps (IFCM) + Método Delphi	Relaciones causales entre factores que influyen en la sostenibilidad de la cadena de suministro hospitalaria	15 conceptos reorganizados a partir de 68 iniciales, incluyendo gestión de la demanda, relaciones con proveedores, energía, medio ambiente, ética, etc.
A multi-criteria model of supply chain sustainability assessment and improvement for sugarcane agroindustry	Evaluar el desempeño sostenible de la cadena de suministro de la agroindustria azucarera e identificar estrategias de mejora usando un enfoque multicriterio bajo incertidumbre.	FIS (Fuzzy Inference System) + MDS (Multidimensional Scaling) + ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)	Estrategias de mejora de la sostenibilidad en la cadena de suministro de la agroindustria de caña de azúcar	28 indicadores distribuidos en 4 dimensiones: económica, social, ambiental y de recursos

A fuzzy cognitive map modeling to explore the operation dynamics of third-party logistics providers (en el marco del 2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management, ICLSIM 2010)	Explorar la dinámica operativa de los proveedores de logística de terceros mediante modelado basado en FCM.	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Dinámica operacional de proveedores logísticos de terceros (3PL)	Se infiere la presencia de múltiples variables operativas relacionadas con logística
Explainability Analysis of the Evaluation Model of the Level of Digital Transformation in msme's based on Fuzzy Cognitive Maps	Evaluar el nivel de transformación digital en micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) mediante FCM, incorporando análisis de explicabilidad del modelo.	Estándar COBIT + Métodos de explicabilidad (generales y específicos para FCM)	Nivel de transformación digital de mipymes considerando cinco grupos de variables: cultura organizacional, cliente, operaciones, tecnologías de la información, y variable objetivo	5 grupos de variables con múltiples subcriterios (el número exacto no se menciona, pero incluye al menos 4 grupos funcionales + 1 variable objetivo)
A Fuzzy DEMATEL-FCM approach for analyzing the enablers of the circular economy and Industry 4.0 in the supply chain	Analizar los habilitadores claves para la implementación conjunta de la economía circular y la Industria 4.0 en la cadena de suministro, con el fin de optimizar recursos y reducir residuos en fábricas de vidrio en Irán. Desarrollar un enfoque dinámico para la selección de proveedores basado en FCM, que identifique y evalúe criterios relevantes que pueden variar con el tiempo en función del	Fuzzy DEMATEL Escenarios forward backward	Relaciones causales entre habilitadores para implementar prácticas sostenibles de economía circular en la cadena de suministro industrial	15 habilitadores, organizados en 4 dimensiones: económica, recursos humanos, organizacional-gerencial e infraestructura
Dynamic Supplier Selection Based on Fuzzy Cognitive Map	Desarrollar un enfoque dinámico para la selección de proveedores basado en FCM, que identifique y evalúe criterios relevantes que pueden variar con el tiempo en función del	Algoritmo Hebbiano lineal	Selección dinámica de proveedores en función de subcriterios ambientales y de sostenibilidad en una cadena de suministro farmacéutica	Múltiples subcriterios ambientales: baja emisión de contaminantes, baja emisión de CO ₂ , bajo consumo energético, reciclabilidad, entre otros (al

	contexto económico, político o ambiental. Desarrollar un modelo de gestión de calidad en la cadena de suministro (SCQM) utilizando Mapas Cognitivos Difusos Multicapa (ML-FCM), que permita descomponer y analizar jerárquicamente los conceptos relevantes. Compilar contribuciones académicas relevantes sobre gestión logística y sistemas inteligentes, incluyendo aplicaciones de FCM en logística de terceros. Analizar sistemáticamente los mecanismos causales entre los criterios operativos colaborativos y sus categorías dentro de coaliciones de transporte, con el fin de apoyar la toma de decisiones sobre el nivel de integración colaborativa. Identificar y analizar factores de riesgo en la gestión de la cadena de suministro mediante el uso de mapas			menos explícitos)	5
Modeling Supply Chain Quality Management using Multi-Layer Fuzzy Cognitive Maps		Multi-Layer Fuzzy Cognitive Maps (ML-FCM) + métricas de densidad y fuerza	Gestión de la calidad en una cadena de suministro de tres niveles del sector de productos de cuidado personal	6 variables clave: beneficio total, costos de calidad, rechazos y devoluciones de proveedores, productividad, y rechazos y devoluciones de clientes	
2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management, ICLSIM 2010		Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Dinámica operativa de proveedores logísticos de terceros (3PL), como parte de una de las 445 ponencias del congreso	No especificado; sólo se menciona como uno de los temas incluidos en el congreso	
Causal mechanism in transport collaboration		Simulación en red heterárquica de transporte multinivel	Relación causal entre criterios de colaboración en redes de transporte cooperativo	No especificado numéricamente; se hace referencia a múltiples criterios operativos conectados por relaciones de colaboración	
Intuitionistic Fuzzy Cognitive Map Based Analysis of Supply Chain Risks		Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps (IFCM)	Factores de riesgo en la cadena de suministro y sus relaciones causa-efecto	No especificado numéricamente, pero se representa un conjunto amplio de factores con pesos y relaciones	

	cognitivos intuitivos difusos (IFCM), visualizando sus relaciones causales e importancia relativa. Evaluar estrategias de sostenibilidad ambiental en cadenas de suministro de economías emergentes, integrando FCM y DEA para medir su impacto en el desempeño de la red logística. Desarrollar un modelo de selección de proveedores considerando la dependencia entre criterios de sostenibilidad y riesgos en ambientes difusos. Presentar una estructura de prácticas para una cadena de suministro inteligente y sostenible, identificando la interdependencia entre métodos relacionales que ayudan a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. Analizar los factores de vulnerabilidad específicos de la cadena de suministro forestal (FSC) y simular sus interacciones en distintos			visualizadas en un mapa causal
Evaluating strategies for environmental sustainability in a supply chain of an emerging economy		Data Envelopment Analysis (DEA) + Extended Rule Delta (EDR)	Relaciones causa-efecto entre estrategias de sostenibilidad ambiental y factores de desempeño en una cadena de suministro (FMCG)	18 estrategias + 3 factores de desempeño (total: 21 elementos)
Supplier selection problem in fuzzy environment considering risk factors		Fuzzy Axiomatic Design (RFAD)	Selección de proveedores considerando criterios interdependent es y factores de riesgo endógenos y exógenos	No se especifica el número exacto, pero abarca múltiples criterios de sostenibilidad y riesgos asociados
Scenario analysis of smart, sustainable supply chain on the basis of a fuzzy cognitive map		Agrupación temática relacional (basada en la vista relacional)	Interdependenci as entre métodos relacionales aplicados a la cadena de suministro inteligente y sostenible (iot económico, verde, social; cadena de suministro económica, verde, social)	7 grupos temáticos clave (iot económico, iot verde, iot social, cadena de suministro económica, verde, social, y otras variables)
Evaluating the Vulnerability of Forestry Supply Chains Through Fuzzy Cognitive Map		Input-Sensitive Fuzzy Cognitive Map (FCM) + Números triangulares difusos + Mecanismo de razonamiento nuevo	Factores de vulnerabilidad en la cadena de suministro forestal bajo tres escenarios: económico, social y ambiental	Incluye múltiples factores críticos como estructura de la cadena, apoyo gubernamental, disponibilidad de recursos, perturbaciones

	escenarios de sostenibilidad. Desarrollar un marco de apoyo a la toma de decisiones para seleccionar la plataforma blockchain más adecuada en cadenas de suministro sostenibles, considerando incertidumbre y múltiples criterios de evaluación. Explorar cómo las tecnologías digitales, particularmente el análisis web y la modelación basada en agentes, pueden mejorar la previsión y desarrollo de redes de distribución para productos de tecnología de la información. Identificar señales tempranas de riesgo en cadenas de suministro manufactureras en India, y desarrollar un modelo difuso para predecir y mitigar riesgos de manera integrada. Desarrollar un enfoque integral para la selección de proveedores bajo los principios de la Industria 4.0, combinando FCM y métodos difusos lingüísticos para			naturales, cambio climático, etc.
A decision support framework for best-fitting blockchain platform selection in sustainable supply chains under uncertainty		Inferencia basada en números Z + Algoritmo de aprendizaje híbrido + Fuzzy Combined Compromise Solution	Relaciones causales entre criterios tecnológicos, organizacionales y ambientales que afectan la adopción de blockchain en cadenas sostenibles	Múltiples criterios como interoperabilidad, eficiencia, costos de implementación, mantenibilidad y operabilidad (no se da número exacto, pero son al menos 5 explícitos)
The Contribution of Digital Technology to the Forecasting of Supply Chain Development, in IT Products, Modeling and Simulation of the Problem		Modelado basado en agentes + Análisis de datos web + Simulación dinámica	Correlaciones de influencia entre variables derivadas de análisis web y su impacto en la previsión y diseño de redes de distribución para productos IT	Se infiere uso de múltiples indicadores derivados del análisis de datos web y marketing digital
Supply Chain Risk Management in Indian Manufacturing Industries: An Empirical Study and a Fuzzy Approach		Análisis empírico (encuesta) + Fuzzy TOPSIS + Regresión	Comportamiento dinámico del sistema de cadena de suministro frente a riesgos, a través del vector de riesgo instantáneo	Se modelan múltiples riesgos percibidos y estrategias de mitigación validadas empíricamente
Supplier selection in the industry 4.0 era by using a fuzzy cognitive map and hesitant fuzzy linguistic VIKOR methodology		Hesitant Fuzzy Linguistic VIKOR	Selección de proveedores considerando 13 subcriterios agrupados en dimensiones económica, ambiental y social	13 subcriterios organizados en 3 categorías principales: económica, ambiental y social

Managing supply chain resilience assessment model-relevant factors and activities using an FCM-FBWM approach	ponderar y priorizar criterios. Modelar y gestionar los factores y actividades que influyen en la resiliencia de la cadena de suministro y sus interrelaciones, con el fin de proponer escenarios de mejora y asignación eficiente de recursos.	FBWM (Fuzzy Best-Worst Method)	Factores clave que impactan la resiliencia de la cadena de suministro, como cooperación, visibilidad, agilidad y liderazgo	Al menos 3 explícitos: cooperación y confianza, visibilidad y agilidad, apoyo y compromiso del liderazgo (probablemente más en el modelo completo)
Relations between supply chain performance and circular economy implementation: A fuzzy cognitive map-based analysis for sustainable development	Evaluar la influencia de los principios de la economía circular sobre el desempeño de la cadena de suministro mediante un modelo computacional basado en FCM. Evaluar el nivel de transformación digital en micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes) mediante el diseño de un FCM basado en la experiencia de expertos.	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Relación causal entre atributos de desempeño en la cadena de suministro y principios de economía circular	Se modelan múltiples atributos de desempeño y principios de circularidad
Evaluation of the Level of Digital Transformation in msme's Using Fuzzy Cognitive Maps Based on Experts	Evaluar y comprender las interrelaciones entre criterios de configuración de cadenas de suministro, como integración, estrategia, riesgo y desempeño, aplicando IFCM en una fábrica automotriz.	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Nivel de transformación digital de mipymes, incluyendo organización, cliente, operaciones, TI y una variable objetivo	5 grupos principales: (1) organización y cultura, (2) cliente, (3) operaciones y procesos internos, (4) tecnologías de la información, y (5) nivel objetivo de transformación digital
Intuitionistic fuzzy cognitive map approach for the evaluation of supply chain configuration criteria		Intuitionistic Fuzzy Cognitive Map (IFCM)	Relaciones causales entre criterios de configuración de la cadena de suministro	Varios criterios identificados en cuatro categorías: integración, estrategias, factores de riesgo y desempeño (el número total no se especifica, pero se destacan como categorías clave)

Decision-making process for photovoltaic solar energy sector development using fuzzy cognitive map technique	Apoyar la toma de decisiones para el desarrollo del sector de energía solar fotovoltaica en Brasil, considerando factores con alta incertidumbre mediante FCM. Predecir cómo las decisiones de localización en la subcontratación offshore afectan la resiliencia de la cadena de suministro, usando una metodología híbrida FCM-AHP. Diseñar un sistema inteligente de reconocimiento de emociones musicales utilizando FCM, en el contexto de productos musicales en línea y su gestión en la cadena de suministro. Evaluar y analizar barreras críticas para la adopción de blockchain en cadenas de suministro sostenibles, utilizando FCM y teoría de números Z para mejorar la toma de decisiones.	Modelado semicuantitativo + escenarios con participación de actores del sector energético	Factores que influyen en el desarrollo del sector de energía solar fotovoltaica en Brasil y su relación con el desempeño de la cadena de suministro	Se modelan factores económicos, políticos, sociales, ambientales y de sostenibilidad operacional
A hybrid FCM-AHP approach to predict impacts of offshore outsourcing location decisions on supply chain resilience		Analytic Hierarchy Process (AHP) + análisis de sensibilidad y simulación de escenarios	Impacto de la decisión de ubicación en procesos de outsourcing offshore sobre la resiliencia de la cadena de suministro	Se infiere la evaluación de capacidades críticas de resiliencia bajo diferentes escenarios de localización
The design of intelligent fuzzy cognitive system of music emotion by product supply chain management		Reconocimiento de emociones del habla + Extracción de características acústicas (MFCC, espectros marginales, etc.)	Reconocimiento de emociones en música considerando el comportamiento del consumidor y la distribución digital en la cadena de suministro	5 emociones básicas (tristeza, ira, felicidad, sorpresa, aburrimiento) + múltiples características acústicas (prosódicas, formantes, MFCC)
Enhancing sustainable supply chain readiness to adopt blockchain: A decision support approach for barriers analysis		Z-number theory + Algoritmo de aprendizaje híbrido	Relaciones causales entre barreras económicas, sociales y ambientales para la adopción de blockchain en cadenas sostenibles	Múltiples barreras como consumo energético, costos de adopción, auditorías adicionales y regulación incierta (al menos 4 explícitas)
A novel IFCM integrated distance based hierarchical intuitionistic decision making procedure for	Desarrollar un procedimiento de toma de decisiones para seleccionar proveedores ágiles mediante	Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps (IFCM) + Jerarquía de decisión + Procedimiento	Selección de proveedores ágiles en un entorno de fabricación dinámica (industria de	Múltiples criterios jerárquicos expresados en el IFCM (no se da número exacto)

agile supplier selection	una técnica jerárquica basada en distancia, integrando mapas cognitivos difusos intuitivos. Evaluar el uso de datos analíticos del mercado de criptomonedas para modelar y predecir el precio de las acciones de empresas de la cadena de suministro en la industria de fertilizantes.	basado en distancia (ideal vs anti-ideal)	tintes en Turquía)	
Modeling Supply Chain Firms' Stock Prices in the Fertilizer Industry through Innovative Cryptocurrency Market Big Data		Análisis estadístico (correlación y regresión lineal) + Hybrid Modeling (HM)	Influencia de indicadores del mercado cripto (tráfico, costos publicitarios, keywords) sobre los precios de acciones de empresas en la cadena de suministro de fertilizantes	Al menos 3 factores explícitos: tráfico orgánico, tráfico pagado y keywords en sitios de criptomonedas
Leveraging Blockchain for sustainability and supply chain resilience in e-commerce channels for additive manufacturing: A cognitive analytics management framework-based assessment	Evaluar el papel de la tecnología blockchain para mejorar la sostenibilidad y la resiliencia de la cadena de suministro en canales de comercio electrónico vinculados a la manufactura aditiva. Analizar y desarrollar un modelo basado en reglas para la integración y coordinación de la gestión de calidad en la cadena de suministro (SCQM) usando FCM. Identificar y analizar los riesgos financieros en cadenas de suministro al implementar tecnología blockchain,	Cognitive Analytics Management Framework + Value-Focused Thinking	Impacto de atributos de blockchain sobre dimensiones de sostenibilidad y resiliencia en ECAM (E-Commerce Additive Manufacturing)	Se modelan atributos de blockchain, dimensiones de sostenibilidad y resiliencia
Rule-based modeling of supply chain quality management		Modelado basado en reglas + Análisis de convergencia	Coordinación e integración de la gestión de calidad en la cadena de suministro a través de nueve conceptos clave	9 conceptos de SCQM, incluyendo rechazos, devoluciones, productos defectuosos, entre otros
Risk Analysis of Supply Chain Finance under Blockchain Technology - Based on AHP-FCM Model		Analytic Hierarchy Process (AHP)	Riesgos financieros en cadenas de suministro tecnología blockchain	6 factores: análisis macroindustrial, riesgo crediticio, riesgo de relación en la cadena, riesgo de prenda, riesgo operativo y riesgo del

Managing food security through food waste and loss: Small data to big data	considerando factores internos y externos. Analizar cómo los factores organizacionales y sociales afectan la pérdida y desperdicio de alimentos, y cómo estos influyen en la seguridad alimentaria, proponiendo un enfoque de modelado basado en FCM para informar políticas.	Simulaciones "what-if" + Principios de diseño de ciencia organizacional	Relaciones causales entre factores organizacionales y sociales en la distribución y consumo de alimentos que impactan en la seguridad alimentaria	sistema blockchain Modela múltiples factores organizacionales y sociales (como distribución, consumo, comportamiento y políticas)
Exploring Critical Factors Influencing the Resilience of the Prefabricated Construction Supply Chain	Identificar y analizar los factores críticos que afectan la resiliencia de la cadena de suministro de construcción prefabricada y sus interrelaciones.	Revisión de literatura + Técnica Delphi	Factores que afectan la resiliencia de la cadena de suministro de construcción prefabricada (RPCSC)	11 conceptos clave: intercambio de información, I+D, desempeño de componentes, alineación de decisiones, calidad de relaciones, políticas, riesgo de transporte, etc.
Data-driven ambiguous cognitive map for complex decision-making in supply chain management	Mejorar la toma de decisiones en cadenas de suministro bajo incertidumbre compleja mediante el desarrollo del Ambiguous Cognitive Map (ACM), basado en la teoría de conjuntos ambiguos. Diseñar un sistema autónomo de trazabilidad en la cadena de suministro alimentaria, basado en iot, que permita detectar la causa de problemas en	Ambiguous Cognitive Map (ACM) (extensión del FCM tradicional) + Teoría de conjuntos ambiguos + Formulación matemática + Sistema de priorización por rango	Procesos complejos de toma de decisiones en gestión de la cadena de suministro bajo incertidumbre dinámica	Se centra en variables clave del sistema de cadena de suministro y sus relaciones causales ambiguas
Autonomous tracing system for backward design in food supply chain	Diseñar un sistema autónomo de trazabilidad en la cadena de suministro alimentaria, basado en iot, que permita detectar la causa de problemas en	Método de reglas difusas + Agentes autónomos + Arquitectura iot	Sistema de trazabilidad autónoma en la cadena alimentaria para el diseño inverso (backward design)	Se modelan relaciones imprecisas en el ciclo de vida de uso del producto

	los productos y atribuir responsabilidad es.					
Nvestigating the influence of emotional intelligence on the supplier selection decisions with fuzzy cognitive maps	Investigar cómo la inteligencia emocional de los tomadores de decisiones influye en la selección de proveedores, especialmente considerando factores de sostenibilidad y riesgo.	Simulación de escenarios de decisión		Relaciones causales entre inteligencia emocional, criterios de sostenibilidad, factores de riesgo y decisiones de selección de proveedores		Múltiples criterios de sostenibilidad, factores de riesgo, y variables de inteligencia emocional como confianza y relación interpersonal (no se indica un número exacto)
Time Series Forecasting Using Improved Empirical Fourier Decomposition and High-Order Intuitionistic FCM: Applications in Smart Manufacturing Systems	Desarrollar un enfoque híbrido robusto para mejorar el pronóstico de series temporales no estacionarias en sistemas de manufactura inteligente mediante HIFCM e IEFD. Proponer un enfoque para evaluar y gestionar la preparación para la incorporación de blockchain en la cadena de suministro mediante modelado de actividades clave. Aplicar mapas cognitivos difusos para comprender cómo los antecedentes de resiliencia impactan en la cadena de suministro y facilitar la toma de decisiones sobre inversiones en resiliencia.	High-Order Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps (HIFCM) + Improved Empirical Fourier Decomposition (IEFD) + Elastic-net + Grey Wolf Optimizer		Predicción de series temporales en aplicaciones de manufactura inteligente y cadena de suministro		Incluye nodos de entrada derivados de características de series temporales y relaciones dinámicas con incertidumbre (intensidad, incertidumbre y grado de vacilación)
An integrated FCM-FBWM approach to assess and manage the readiness for blockchain incorporation in the supply chain		Fuzzy Best-Worst Method (FBWM)		Actividades relevantes para la preparación de la cadena de suministro para adoptar tecnología blockchain		Se modelan múltiples actividades de preparación (identificadas, evaluadas y priorizadas por su impacto en la preparación general)
Understanding the impact of supply chain resilience antecedents through FCM		Simulación de escenarios		Relaciones causales entre antecedentes (factores) de resiliencia en la cadena de suministro		Modela múltiples antecedentes críticos para evaluar su activación y efecto en la resiliencia del sistema

Quantifying reputation risk using a fuzzy cognitive map: a case of a pharmaceutical supply chain	Desarrollar un modelo que cuantifique el riesgo reputacional en la cadena de suministro farmacéutica integrando factores de riesgo operacionales de todos los eslabones.	Análisis de eventos Opinión de expertos Escenarios "what-if"	de + de +	Riesgo reputacional en la cadena farmacéutica, incluyendo factores operacionales de socios upstream, downstream y empresa focal	13 factores de riesgo operacional como insumos del modelo (ej. Calidad, gobernanza, crisis éticas, entre otros)
Organizational culture's influence on supply chain performance analysis with fuzzy grey cognitive maps	Analizar cómo la cultura organizacional influye en el desempeño de la cadena de suministro (SCP), mediante un modelo de toma de decisiones grupal multicriterio basado en FGCM.	Fuzzy Cognitive Maps (FGCM) Modelo SCOR® Dimensiones culturales de Hofstede Simulación de escenarios	Grey Maps + + de + de	Relación entre dimensiones culturales y atributos de desempeño de la cadena de suministro	Múltiples atributos del desempeño (SCOR: fiabilidad, capacidad de respuesta, agilidad, coste, gestión de activos) cruzados con dimensiones culturales (Hofstede: poder, individualismo, incertidumbre, etc.)
Retractado oficialmente					
Reducing the bullwhip effect in supply chain with factors affecting the customer demand forecasting	Identificar los factores que afectan la previsión de la demanda del cliente para reducir el efecto látigo en la cadena de suministro y mejorar la planificación de la producción. Evaluar la calidad del software considerando producto, usuario y datos, empleando estándares ISO y análisis basado en escenarios con mapas cognitivos difusos.	Estadística descriptiva + análisis de ruta + modelado de ecuaciones estructurales (sem)	+ de	Relación causal entre factores de previsión de demanda del cliente y el efecto látigo en la cadena de suministro	Modela múltiples factores relacionados con el desempeño de la gestión de la demanda y la incertidumbre del cliente
Software Quality Evaluation Using Square Series and Scenario-Based Fuzzy Cognitive Map		Serie cuadradas (Square Series) + Análisis de escenarios + ISO/IEC 25010 e ISO/IEC 25012		Evaluación de características de calidad del software en función de estándares ISO y su impacto en el desempeño del sistema en la cadena de suministro	Múltiples atributos de calidad: usabilidad, confiabilidad, seguridad, interoperabilidad, integridad de datos, etc. (según ISO 25010/25012)

Toward a sustainable supply chain for social credit: learning by experience using single-valued neutrosophic sets and fuzzy cognitive maps	Desarrollar una estructura cognitiva para comprender mejor la cadena de suministro del crédito social y su impacto socioeconómico, utilizando un enfoque socio-técnico.	Conjuntos neutrosóficos de valor único (Single-Valued Neutrosophic Sets, SVNS)	Relaciones causa-efecto en la cadena de suministro del crédito social (microcrédito con fines sociales)	Incluye componentes sociales, técnicos y económicos relacionados con el crédito social
Understanding the Blockchain Technology Adoption from Procurement Professionals' Perspective - An Analysis of the Technology Acceptance Model Using Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps	Analizar la adopción de tecnología blockchain por parte de profesionales de compras, utilizando el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM) combinado con IFCM.	Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps (IFCM) + Technology Acceptance Model (TAM)	Adopción de blockchain en procesos de compras considerando variables como intención, relevancia del trabajo y calidad del resultado	Múltiples variables del TAM adaptadas a compras: intención de uso, utilidad percibida, facilidad de uso, relevancia, calidad de salida, etc. (al menos 5 criterios explícitos)
A fuzzy cognitive map application for causes of bullwhip effect in supply chains	Analizar las causas del efecto látigo en las cadenas de suministro y determinar los factores raíz mediante un enfoque estructurado basado en FCM. Proponer y aplicar una metodología para analizar cómo los efectos en cascada (ripple effect) derivados de una disrupción impactan en la resiliencia de la cadena de suministro, usando FCM.	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Causas del efecto látigo y sus interacciones dentro de la cadena de suministro	Modela múltiples causas e interacciones del bullwhip effect (ej. Retrasos en la información, sobreestimaciones de demanda, etc.)
Analysis of ripple effect and its impact on supply chain resilience: a general framework and a case study on agri-food supply chain during the COVID-19 pandemic	Proponer y aplicar una metodología para analizar cómo los efectos en cascada (ripple effect) derivados de una disrupción impactan en la resiliencia de la cadena de suministro, usando FCM.	Análisis de trayectoria causal + Estudio de caso en agri-food supply chain	Efectos en cascada causales entre factores que debilitan o fortalecen la resiliencia en la cadena agroalimentaria durante la pandemia de COVID-19	60 trayectorias principales (paths) y 6 ciclos causales identificados en el sistema
Analysis of Causal Relationships Effective Factors on the Green Supplier Selection in Health Centers	Identificar los factores que influyen en la selección de proveedores verdes en hospitales y analizar sus	Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps (IFCM)	Factores causales que inciden en la selección de proveedores verdes en centros de salud	14 factores: capacidad financiera, creatividad, tecnología verde, flexibilidad, compromiso, confianza,

Using the Intuitionistic Fuzzy Cognitive Map (IFCM) Method	relaciones causales para mejorar el desempeño ambiental en el sector salud.			calidad verde, transporte verde, cooperación ambiental, manejo de materiales peligrosos, empaques verdes, etc.
Soft System Methodology framework for fair and balanced of risk and value-added distribution in sugarcane agroindustry supply chains	Desarrollar un modelo para una distribución equitativa del riesgo y del valor agregado entre los actores de la cadena de suministro agroindustrial de caña de azúcar. Desarrollar un modelo	Soft System Methodology (SSM) + Sistema de negociación	Distribución de riesgo y valor agregado en la cadena de suministro de caña de azúcar bajo principios de equidad y colaboración	Incluye múltiples variables cualitativas modeladas en la cuarta, quinta y sexta etapa del SSM
Predicting a model of agile supply chain in the service provider enterprises by factor analysis method and fuzzy cognitive map	conceptual de cadena de suministro ágil en empresas proveedoras de servicios, identificando factores críticos y sus relaciones causales para mejorar la adaptabilidad.	Análisis factorial exploratorio (EFA) + Cuestionarios a expertos	Relaciones causales entre factores críticos de éxito en la agilidad de la cadena de suministro de servicios	11 factores críticos derivados del análisis factorial, aplicados a empresas de servicios iraníes
Analyzing of CPFR success factors using fuzzy cognitive maps in retail industry	Determinar y analizar mediante FCM los factores que favorecen la implementación exitosa del modelo CPFR en la industria minorista.	Simulación de escenarios "what-if"	Factores críticos de éxito para la implementación del modelo CPFR en cadenas de suministro del sector retail	Tres subsistemas principales del CPFR modelados: 1) intercambio de información, 2) sincronización de decisiones, 3) alineación de incentivos (cada uno con variables causales asociadas)
DCM: D number extended cognitive map. Application on location selection in SCM	Proponer un modelo para la selección de ubicaciones de subcontratación en la cadena de suministro bajo incertidumbre extrema, considerando la resiliencia de la cadena.	D numbers (extensión de FCM) + DEMATEL-ANP (para ponderación de capacidades de resiliencia)	Influencia de factores externos sobre la resiliencia de la cadena de suministro para seleccionar la mejor ubicación	Incluye múltiples factores externos y capacidades de resiliencia ponderadas

Readiness assessment of leagility supply chain based on fuzzy cognitive maps and interpretive structural modeling: a case study	Evaluar el nivel de preparación de una cadena de suministro ágil-lean (leagility) utilizando FCM e ISM para clasificar y analizar los factores de influencia. Proponer un enfoque integral para la gestión de riesgos en la cadena de suministro de proyectos de construcción, integrando teoría fundamentada, FCM y análisis de relaciones grises. Analizar cómo la adopción de tecnología blockchain puede mejorar el desempeño de cadenas de suministro sostenibles mediante un enfoque basado en FCM y algoritmos híbridos de aprendizaje.	Interpretive Structural Modeling (ISM) + Delphi	Nivel de preparación de la cadena de suministro leagility función de variables estáticas y dinámicas	Variables dentro de un rango de influencia del 20% al 100%, clasificadas como dinámicas y estáticas (no se da un número total exacto, pero son múltiples)
Development of supply chain risk management approaches for construction projects: A grounded theory approach	Analizar cómo la adopción de tecnología blockchain puede mejorar el desempeño de cadenas de suministro sostenibles mediante un enfoque basado en FCM y algoritmos híbridos de aprendizaje. Modelar los conceptos clave que afectan el desempeño de la cadena de suministro, considerando tanto factores internos como exógenos en un entorno globalizado.	Grounded Theory + Grey Relational Analysis	Riesgos en proyectos de construcción, simulación de escenarios de mitigación y evaluación de su efectividad	Diversos riesgos y estrategias de mitigación; número no especificado, pero se modelan múltiples escenarios y relaciones causales
Exploring the Role of Blockchain Technology in Improving Sustainable Supply Chain Performance: A System-Analysis-Based Approach	Modelar los conceptos clave que afectan el desempeño de la cadena de suministro, considerando tanto factores internos como exógenos en un entorno globalizado.	Algoritmo híbrido de aprendizaje FCM + Método de compromiso combinado (Combined Compromise Solution)	Relaciones causales entre habilitadores de blockchain (BT) y objetivos de desempeño en cadenas de suministro sostenibles (SSC)	Múltiples habilitadores de blockchain (ej. Trazabilidad, contratos inteligentes, sostenibilidad ambiental) y métricas de desempeño SSC
A FCM analysis for supply chain management	Analizar los factores que afectaron el desempeño de los proveedores del sector de	Conocimiento experto	Conceptos interrelacionados causalmente que afectan el rendimiento de la cadena de suministro (factores económicos, políticos, de negocio, etc.)	Múltiples conceptos clave de desempeño en cadena de suministro (no se indica número exacto)
Analyzing the effects of COVID-19 pandemic on supplier performance	Analizar los factores que afectaron el desempeño de los proveedores del sector de	Algoritmo de Aprendizaje Híbrido (Non-linear Learning + Extended	Evaluación del desempeño de proveedores considerando factores críticos	Al menos 4 factores principales: calidad general, cumplimiento de tiempos de

evaluation factors via fuzzy cognitive map with a hybrid learning system	productos de cuidado personal y del hogar durante la pandemia, y proponer una metodología robusta de evaluación. Valuar las inversiones en sistemas de información mediante la visualización del conocimiento y el mapeo de factores complejos que afectan dichas decisiones. Analizar la aplicación de metodologías de toma de decisiones multicriterio (MCDM) integradas en QFD para energías renovables en el mar, mejorando el rendimiento y la sostenibilidad. Optimizar el proceso de construcción de paisajes ajardinados en entornos residenciales mediante un esquema basado en FCM inteligente, reduciendo el consumo de costos en la cadena de suministro de construcción.	Great Deluge Algorithm)	bajo condiciones pandémicas	entrega, habilidades comunicativas, capacidad de producción total
Visualising a knowledge mapping of information systems investment evaluation		Sistema experto difuso (fuzzy expert system)	Factores de decisión en la evaluación de inversiones en sistemas de información (costos, beneficios, riesgos, conocimientos tácitos y explícitos)	Se mencionan múltiples componentes interrelacionados : financieros, organizacionales y humanos
Using Multi-Criteria Decision Making in Quality Function Deployment for Offshore Renewable Energies		QFD + AHP + TOPSIS + DEMATEL + lógica difusa	Relaciones entre requisitos del cliente y características técnicas en QFD para energías renovables marinas	Múltiples criterios: requerimientos del cliente, parámetros técnicos, relaciones de correlación (no se da número exacto, pero derivados de hoq)
Research on Prefabricated Garden Landscape Construction Based on Intelligent Fuzzy Cognitive Map under Supply Chain Management		Intelligent Fuzzy Cognitive Map + Algoritmo de control difuso de muestras	Costos y procesos de construcción de paisajes urbanos dentro de la gestión de la cadena de suministro	Incluye variables relacionadas con el consumo de recursos, eficiencia constructiva y comparación de esquemas
Strategizing SCM-M interface using delone and Mclean model of IS success and fuzzy cognitive	Identificar los factores críticos del éxito en la interfaz gestión de cadena de suministro-marketing	Delone and mclean IS Success Model	Factores críticos del éxito en la interfaz SCM-M en plataformas de comercio electrónico	Factores del modelo D&M: calidad de la información, calidad del sistema, uso, satisfacción del

maps: Perspectives on e-commerce success	(SCM-M) en comercio electrónico usando el modelo de delone y mclean combinado con FCM. Examinar las implicaciones			usuario, beneficios organizacionales, etc. (al menos 6 criterios principales)
The energy transition paradox: How lithium extraction puts pressure on environment, society, and politics	socioambientale s de la minería de litio en el contexto de la transición energética europea y explorar escenarios alternativos mediante FCM. Evaluar la	Marco STEEP (Social, Technological, Economic, Environmental, Political) + Escenarios	Relaciones causales entre gobernanza, minería de litio, circularidad, impactos sociales y ambientales en Europa	Múltiples factores derivados del marco STEEP, incluidos gobernanza, economía circular, corrupción, presión ambiental y justicia social
A clustering approach to the operational resilience analysis of Key Resource Supply Chains (KRSC): The case of Fast Moving Consumer Goods	resiliencia operativa de cadenas de suministro de recursos clave mediante FCM, considerando interrupciones en infraestructuras críticas a lo largo del tiempo. Compile investigaciones presentadas en la conferencia NAFIPS 2012, abordando múltiples enfoques en procesamiento difuso de la información, incluidas aplicaciones de FCM. Proponer un marco de toma de decisiones para seleccionar la mejor configuración de cadena de suministro de combustibles gaseosos, considerando	Agrupamiento (Clustering) + Elicitación de expertos	Interdependenci as entre infraestructuras críticas y cadenas de suministro de bienes de consumo masivo ante disrupciones operativas	Múltiples factores cualitativos; modela efectos a distintos horizontes temporales (1 día, 4 días, 3 semanas) en el suministro de bienes esenciales
2012 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society, NAFIPS 2012	Compilar investigaciones presentadas en la conferencia NAFIPS 2012, abordando múltiples enfoques en procesamiento difuso de la información, incluidas aplicaciones de FCM. Proponer un marco de toma de decisiones para seleccionar la mejor configuración de cadena de suministro de combustibles gaseosos, considerando	Optimización por colonia de hormigas (Ant Colony Optimization) + Procedimiento de búsqueda local	Desarrollo de fcms optimizados para representar conocimientos en problemas complejos como detección de correferencias y decisiones optimistas	Los trabajos presentados abordan diversos modelos y contextos, siendo un compendio más que un estudio único
Gaseous fuel supply chain configuration selection: A life cycle thinking- based decision support framework	Proponer un marco de toma de decisiones para seleccionar la mejor configuración de cadena de suministro de combustibles gaseosos, considerando	FMOORA (Fuzzy Multi- Objective Optimization by Ratio Analysis) + Método Best- Worst	Relaciones causales entre criterios de evaluación para rutas de producción de gas natural renovable (RNG) e hidrógeno	Múltiples indicadores de ciclo de vida y viabilidad económica; se citan explícitamente: costo nivelado de energía, índice de rentabilidad, entre otros

Evaluation of the impact of blockchain technology on supply chain using cognitive maps	prioridades de partes interesadas y relaciones causales. Investigar las relaciones causales entre factores relevantes para evaluar el impacto de la tecnología blockchain en la cadena de suministro, mediante el desarrollo y aplicación de nuevos métodos de mapas cognitivos. Desarrollar un modelo conceptual que permita analizar el efecto dominó entre factores que afectan la resiliencia de la cadena de suministro, utilizando un caso de estudio en la industria de la moda. Contribuir al desarrollo de una industrialización eco-sostenible mediante el análisis de las relaciones causales en la gestión de cadenas de suministro verdes (GSCM). Proponer una herramienta de soporte a decisiones basada en FCM para el análisis dinámico de riesgos en redes colaborativas como cadenas	HFCM (Hesitant FCM), PL-FCM (Probabilistic Linguistic FCM), RS-CM (Rough Set CM)	Impacto de blockchain sobre la cadena de suministro considerando costos, riesgos, beneficios de negocio y del cliente	Múltiples factores: costos, riesgos, beneficios empresariales y beneficios orientados al cliente, derivados de revisión bibliográfica y expertos (número exacto no especificado)
Fuzzy cognitive maps approach for analysing the domino effect of factors affecting supply chain resilience: a fashion industry case study	Contribuir al desarrollo de una industrialización eco-sostenible mediante el análisis de las relaciones causales en la gestión de cadenas de suministro verdes (GSCM). Proponer una herramienta de soporte a decisiones basada en FCM para el análisis dinámico de riesgos en redes colaborativas como cadenas	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Efecto dominó de factores como fuentes de riesgo, factores de interrupción, prácticas de gestión, etc., que afectan la resiliencia de la cadena de suministro	Diversos factores multidimensionales; interrelaciona fuentes de riesgo, interrupciones y prácticas de gestión (número exacto no especificado)
Fuzzy Cognitive Maps analysis of Green Supply Chain Management: A case study approach	Contribuir al desarrollo de una industrialización eco-sostenible mediante el análisis de las relaciones causales en la gestión de cadenas de suministro verdes (GSCM). Proponer una herramienta de soporte a decisiones basada en FCM para el análisis dinámico de riesgos en redes colaborativas como cadenas	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Relaciones causales entre factores que afectan la toma de decisiones en GSCM	Se mencionan factores clave organizados por áreas temáticas dentro del sistema
A new decision support tool for dynamic risks analysis in collaborative networks	Contribuir al desarrollo de una industrialización eco-sostenible mediante el análisis de las relaciones causales en la gestión de cadenas de suministro verdes (GSCM). Proponer una herramienta de soporte a decisiones basada en FCM para el análisis dinámico de riesgos en redes colaborativas como cadenas	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Riesgos en redes colaborativas incluyendo dependencias, incertidumbre, escasez de información y opiniones múltiples	Diversos factores interrelacionados en redes colaborativas (número no especificado), incluidos factores de riesgo, selección de socios,

	de suministro avanzadas o laboratorios virtuales. Evaluar cómo los habilitadores de blockchain afectan el desempeño de la cadena de suministro sostenible, mediante un modelo analítico que combina teoría de redes, inferencia difusa y FCM.			preparación para colaboración, etc.
An analytical approach for evaluating the impact of blockchain technology on sustainable supply chain performance		Sistema de Inferencia Difusa + Teoría de redes + Algoritmo híbrido de aprendizaje Fuzzy DEA	Relaciones causales entre los habilitadores de adopción de blockchain y su impacto en indicadores de desempeño sostenible de la cadena de suministro	Múltiples habilitadores (ej. Contratos inteligentes, trazabilidad, sostenibilidad ambiental), derivados de la revisión bibliográfica y expertos
Low-Carbon Supplier Selection Using a Scenario-Based Integrated FCM-EDAS Approach: A Textile Company Case Study	Proponer un enfoque integrado basado en escenarios, utilizando FCM y EDAS, para seleccionar proveedores de bajo carbono en la industria textil. Proponer un modelo de toma de decisiones	EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) + Análisis de escenarios	Criterios positivos y negativos que afectan la selección de proveedores sostenibles (bajo carbono) en cadenas de suministro textiles	Diversos criterios de selección de proveedores sostenibles; el número exacto no se menciona, pero están explícitamente diferenciados como positivos y negativos
A dual-level multi-attribute group decision-making model considering interaction factors based on CCSD and MARCOS methods with R-numbers	grupales multiatributo a doble nivel, que tenga en cuenta factores de interacción mediante FCM, para la evaluación de riesgos en cadenas de suministro virtuales en el metaverso. Desarrollar un modelo conceptual para analizar el efecto dominó entre conceptos que influyen en la resiliencia de la cadena de suministro, aplicado a una cadena de	R-numbers + CCSD (Correlation Coefficient and Standard Deviation) + MARCOS	Interacciones entre criterios jerárquicos (niveles 1 y 2) para evaluar alternativas de configuración en cadenas de suministro del metaverso	11 criterios en total (4 criterios de nivel 1 y 7 de nivel 2)
Conceptual model for analysing domino effect among concepts affecting supply chain resilience		Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Cadenas de efectos entre conceptos como fuentes de riesgo, disrupciones, prácticas de gestión y factores operativos que afectan la resiliencia	Diversos conceptos conectados a diferentes niveles; el número exacto no se especifica pero se abordan múltiples rutas causales hacia la resiliencia del sistema

Sustainable supply chain management framework in a higher education laboratory using intuitionistic fuzzy cognitive map	electrodomésticos. Desarrollar un marco de gestión sostenible de la cadena de suministro en laboratorios universitarios y proporcionar un modelo causal para el sector de servicios en educación superior.	Intuitionistic Fuzzy Cognitive Map (IFCM) + Método Delphi	Sostenibilidad en la cadena de suministro de laboratorios de educación superior	15 conceptos organizados en 4 categorías, destacando "requisitos legales" y "responsabilidad social" como los más importantes
Evaluating the Impact of Risk Component in Supply Chain Management Using Intuitionistic Fuzzy Cognitive Map	Desarrollar un modelo predictivo para evaluar riesgos en la gestión de la cadena de suministro frente a crecientes incertidumbres y complejidades.	Intuitionistic Fuzzy Cognitive Maps (IFCM) + Funciones de membresía triangulares + Análisis de escenarios	Riesgos en la gestión de cadenas de suministro complejas (identificación, evaluación y mitigación)	Múltiples variables derivadas de una revisión bibliográfica y codificadas mediante lógica difusa (número no especificado con exactitud)
Optimization of Residential Landscape Design and Supply Chain System Using Intelligent Fuzzy Cognitive Map and Genetic Algorithm	Optimizar el diseño de paisajes residenciales y su integración con sistemas de cadena de suministro mediante FCM y algoritmos genéticos.	Intelligent Fuzzy Cognitive Map (FCM) + Algoritmo Genético (GA) + Regresión Logística (LR) + Aprendizaje Hebbiano	Relación causal entre nodos del diseño paisajístico y variables del sistema logístico de cadena de suministro	Diversas variables operativas y espaciales; aunque no se especifica un número exacto, el modelo se basa en nodos y pesos con interacción iterativa
A fuzzy cognitive mapping model for service supply chains performance	Desarrollar un modelo de evaluación del desempeño para cadenas de suministro de servicios (SSCPE) mediante mapas cognitivos difusos, con aplicación al sector asegurador.	Entrevistas con expertos	Métricas de desempeño estratégico, táctico y operativo de cadenas de suministro de servicios	Al menos 8 criterios: gestión del servicio, habilitación del servicio, mercado, flujo de caja, relación con clientes, relación con proveedores, flujo de información y gestión del riesgo
A network-TOPSIS based fuzzy decision support system for supplier selection in risky supply chain	Proponer un sistema de soporte de decisiones para la selección de proveedores en cadenas de suministro con	Fuzzy Extent Analysis + Fuzzy Decision Map + Fuzzy TOPSIS	Interdependencias entre criterios de selección de proveedores y su evaluación bajo incertidumbre	Múltiples criterios de evaluación representados por valores lingüísticos en números difusos triangulares (no

	riesgo, integrando diversas herramientas difusas para mejorar la toma de decisiones en presencia de incertidumbre. Desarrollar una heurística para seleccionar herramientas de diagnóstico adecuadas para sistemas de suministro de caña de azúcar a gran escala, considerando la complejidad del sistema y la variedad de metodologías disponibles. Compilar investigaciones sobre sistemas logísticos e inteligencia de gestión, entre ellas una que utiliza FCM para explorar la dinámica operativa de proveedores logísticos de terceros (3PL). Evaluar la inversión en sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID) en procesos de cadena de suministro, considerando tanto beneficios tangibles como intangibles.			se indica número exacto)
A heuristic for the selection of appropriate diagnostic tools in large-scale sugarcane supply systems		Heurística comparativa + Diagrama de bucles de causales, diagramas de flujo y stock, diagramas de red	Captura de retroalimentación y relaciones causales entre criterios de diagnóstico en sistemas de suministro y procesamiento de caña	Diversos criterios comparativos derivados de literatura; no se especifica un número exacto de factores en el FCM, pero se incluye en un conjunto de herramientas de evaluación de sistemas complejos
2010 International Conference on Logistics Systems and Intelligent Management, ICLSIM 2010		Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Dinámica operativa de proveedores logísticos de terceros (3PL)	Es una recopilación con múltiples trabajos
Evaluating radio frequency identification investments using fuzzy cognitive maps		Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Impacto de la implementación de sistemas RFID en eficiencia, precisión y seguridad en la cadena de suministro	Múltiples beneficios tangibles e intangibles relacionados con RFID en distintos niveles (ítem, caja, pallet), aunque no se especifica el número exacto
Analyzing of collaborative planning, forecasting and replenishment approach using	Analizar de forma sistemática los factores que respaldan el enfoque CPFR (planificación,	Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Relaciones causales entre factores que influyen en la implementación efectiva del CPFR en la	Múltiples factores interrelacionados (no se especifica el número exacto), incluyendo variables de

fuzzy cognitive map	pronóstico y reposición colaborativa) en cadenas de suministro mediante el uso de mapas cognitivos difusos. Proponer un método sistemático para identificar, evaluar, jerarquizar y gestionar los riesgos en la cadena de suministro utilizando mapas cognitivos difusos. Desarrollar una metodología sistemática para construir FCM y convertirlos en Redes Bayesianas de Creencia (BBN), permitiendo adquirir y razonar sobre conocimiento causal de diseño en entornos industriales complejos. Compilar investigaciones en inteligencia artificial, entre ellas el uso de FCM para modelar sistemas complejos. Desarrollar un modelo para analizar relaciones causa-efecto en cadenas de suministro habilitadas con RFID, utilizando mapas cognitivos difusos y		gestión de la cadena de suministro	planificación, pronóstico y reposición
Supply chain risk analysis with fuzzy cognitive maps		Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Interrelaciones directas e indirectas entre factores de riesgo y componentes del sistema dentro de una cadena de suministro	Diversos factores de riesgo interconectados causalmente (número no especificado)
Causal design knowledge acquisition by constructing BBN through FCM		Bayesian Belief Network (BBN)	Conocimiento causal de diseño en ingeniería (ejemplo: boquilla de combustible de motor aeroespacial)	Se enfoca en procesos causales representados mediante nodos FCM y su conversión a BBN
9th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICAI 2010		Fuzzy Cognitive Map (FCM)	Sistemas complejos (sin especificar un sistema único, dado el carácter recopilatorio del evento)	Depende del estudio individual en la compilación que aplica FCM
Forward-backward analysis of RFID-enabled supply chain using fuzzy cognitive map and genetic algorithm		Algoritmo Genético (GA)	Relaciones causales bidireccionales entre estados internos y externos en una cadena de suministro (como nivel de inventario y tasa de fallas)	Múltiples estados del sistema (no se especifica cantidad), inferidos a partir de datos históricos de estado

	algoritmos genéticos, con enfoque de análisis hacia adelante (what-if) y hacia atrás (detección de causas). Evaluar inversiones en tecnologías RFID dentro de procesos de cadena de suministro, considerando tanto beneficios tangibles como intangibles mediante FCM.					
Evaluating radio frequency identification investments using fuzzy cognitive maps		Fuzzy Cognitive Map (FCM)			Impacto causal de la implementación de RFID sobre la eficiencia, precisión y seguridad de los procesos de cadena de suministro	Diversos factores tangibles e intangibles distribuidos en distintos niveles de implementación RFID (ítem, caja, pallet); número no especificado
9th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICAI 2010	Reunir investigaciones avanzadas en inteligencia artificial, incluyendo el uso de mapas cognitivos difusos para modelar sistemas complejos. Presentar una metodología para construir mapas cognitivos difusos (FCM), convertirlos en Redes Bayesianas (BBN) y comparar ambos métodos en la adquisición de conocimiento causal de diseño.	Fuzzy Cognitive Map (FCM)			Sistemas complejos en diferentes dominios, como robótica, procesamiento de imágenes, toma de decisiones, y sistemas educativos	Epende del artículo individual incluido en la conferencia
Causal design knowledge acquisition by constructing BBN through FCM		Bayesian Belief Network (BBN)			Conocimiento causal de diseño industrial aplicado a un caso de estudio: boquilla de combustible de motor aeroespacial	Abarca variables de diseño causales que se modelan mediante nodos FCM y se trasladan a BBN

Desde una perspectiva técnica, se constató que el FCM se ha combinado con una variedad significativa de métodos auxiliares para fortalecer su capacidad de modelación causal. Sin embargo, solo un reducido número de técnicas se repite con alta frecuencia. En efecto, el 69,09% de los estudios incorpora metodologías diversas agrupadas bajo la categoría de "otras técnicas", mientras

que solo el 30,91% restante utiliza técnicas recurrentes como el AHP (5,45%), la simulación (5,45%), el método Delphi clásico (2,73%) y el uso exclusivo de FCM (17,27%). Esta dispersión metodológica, aunque evidencia flexibilidad en la integración de enfoques, dificulta la estandarización de procesos comparativos entre estudios.

En este sentido, se plantea como propuesta de mejora la consolidación de un marco metodológico integrador que favorezca la combinación sistemática de FCM con técnicas que han demostrado robustez en el análisis multicriterio, como AHP, Delphi estructurado y DEMATEL difuso. Establecer protocolos de integración explícitos podría no solo mejorar la trazabilidad de los procesos analíticos, sino también facilitar la replicabilidad y validación cruzada de los modelos desarrollados.

Tabla 3

Técnicas mayormente empleadas en conjunto FCM

Técnica	Número de artículos	Porcentaje (%)
Fuzzy Cognitive Map (FCM)	19	17.27
AHP	6	5.45
Simulación	6	5.45
Delphi clásico	3	2.73
Otras técnicas	76	69.09

El desglose porcentual de los artículos conforme al campo de aplicación evidencia una notable diversidad temática en el uso de los Mapas Cognitivos Difusos en la literatura científica relacionada con las cadenas de suministro. Esta clasificación permite identificar los sectores donde se ha concentrado la aplicación de esta herramienta, así como aquellos que aún representan oportunidades de investigación.

El campo con mayor representación corresponde a la categoría “otros campos” (22,73%), lo cual indica una pluralidad de contextos no estandarizados, donde los FCM han sido aplicados de forma exploratoria o interdisciplinaria. Esta categoría agrupa estudios que, si bien están enmarcados en la cadena de suministro, abordan aspectos como diseño emocional de productos, predicción bursátil, arquitectura de sistemas de trazabilidad o modelos para entornos

educativos, entre otros. La amplitud de esta categoría refleja tanto la versatilidad del FCM como la ausencia de una tipificación precisa en ciertos sectores.

La gestión de riesgos representa el segundo campo más abordado (16,36%), lo cual es consistente con las propiedades analíticas de los FCM para modelar sistemas interdependientes y sujetos a incertidumbre. Dentro de este grupo, se incluyen estudios que tratan temas como evaluación de vulnerabilidades, interrupciones logísticas, resiliencia organizacional y análisis del efecto dominó. El carácter complejo y dinámico de los riesgos en las cadenas de suministro explica el uso extendido de herramientas que permiten simular relaciones causales y analizar trayectorias hipotéticas.

En tercer lugar, el área de tecnología y blockchain alcanza el 13,64%, lo cual responde al creciente interés en evaluar la integración de tecnologías emergentes y su impacto en la transformación digital de las cadenas de suministro. Los FCM han sido empleados en este campo para analizar habilitadores, barreras de adopción, y efectos sobre sostenibilidad y trazabilidad, destacándose su utilidad para representar estructuras de innovación bajo condiciones de adopción gradual y heterogénea.

Los campos de desempeño organizacional (12,73%) y gestión de proveedores (11,82%) también presentan un número considerable de investigaciones, evidenciando el interés por mejorar la eficiencia interna de los procesos logísticos y las decisiones de abastecimiento a través de modelos causales. En estos casos, los FCM permiten representar criterios jerárquicos, evaluar la dependencia entre indicadores y proponer rutas de optimización estratégica.

En contraste, categorías como gestión ambiental (1,82%) y general/no especificado (0,91% cada una), muestran una presencia marginal. Esta baja representación puede atribuirse a una menor tradición de modelado estructural en estos temas o a la incipiente integración de metodologías difusas en áreas ambientales, lo cual constituye una oportunidad para futuras investigaciones orientadas a la sostenibilidad operativa y ecológica de las cadenas de suministro.

En términos generales, los resultados de esta clasificación evidencian que, si bien los FCM han sido ampliamente aplicados en contextos vinculados a la incertidumbre, la estrategia y la innovación tecnológica, aún existen campos subrepresentados que podrían beneficiarse de su incorporación sistemática. En consecuencia, se propone como línea de mejora ampliar el uso de FCM en ámbitos como la sostenibilidad ambiental, la circularidad y la logística inversa, así como fomentar estudios que integren de manera transversal las dimensiones económica, social y ecológica de las cadenas de suministro.

Tabla 4

Campo de aplicación de los FCM

Campo de aplicación (industria-negocio)	Número de artículos	Porcentaje (%)
Otros campos	25	22.73
Gestión de riesgos	18	16.36
Tecnología / Blockchain	15	13.64
Desempeño organizacional	14	12.73
Gestión de proveedores	13	11.82
Sostenibilidad	11	10.00
Logística y transporte	10	9.09
Gestión ambiental	2	1.82
General	1	0.91
No especificado	1	0.91

3.5 Estructura metodológica de los estudios basados en FCM

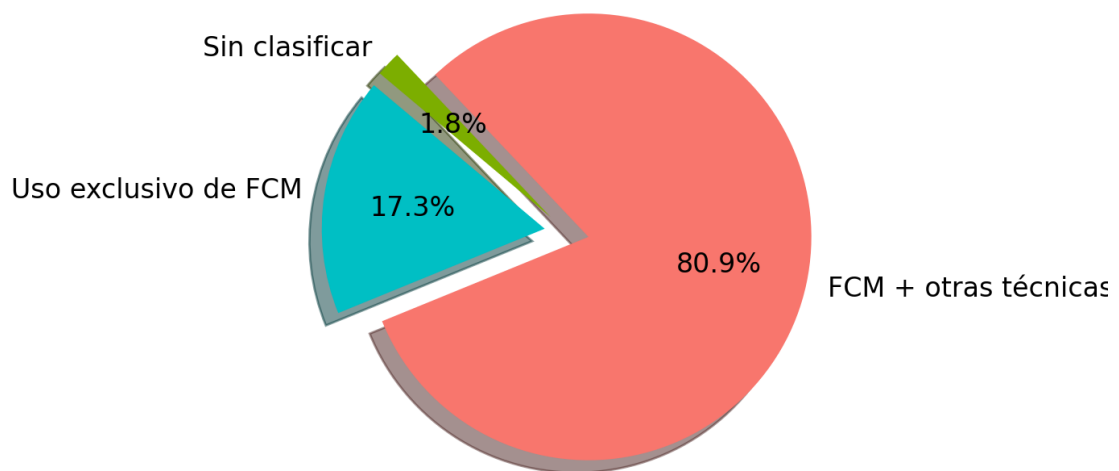
Se revisaron un total de 110 artículos, todos ellos empleando el FCM como herramienta central de modelación. Entre estos, 19 artículos (17,27%) aplican únicamente FCM, sin integrar ninguna técnica metodológica adicional. Estos estudios enfatizan la representación causal en su forma pura y se caracterizan por estructuras cognitivas directas, centradas en la claridad conceptual y la simplicidad de los resultados.

Por otro lado, 89 artículos (80,91%) adoptaron enfoques de modelado híbrido, combinando FCM con una o más metodologías complementarias. Las técnicas más frecuentemente utilizadas incluyen el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), el Método Delphi Difuso (FDM), DEMATEL y otros. Estas combinaciones buscan fortalecer el proceso de modelado incorporando robustez en la toma de decisiones, consenso experto o mapeo estructural de influencias.

Los 2 artículos restantes (1,82%) no presentaron información metodológica suficiente para determinar si utilizaron FCM de forma exclusiva o combinada. La Figura 6 resume esta distribución metodológica, reflejando una clara tendencia hacia el uso de modelos híbridos basados en FCM.

Figura 6

Clasificación de artículos según el uso exclusivo o combinado de FCM con otras técnicas metodológicas.



3.6 Implicaciones metodológicas

El predominio de enfoques híbridos basados en FCM sugiere una tendencia investigativa en evolución que favorece el refuerzo analítico mediante la integración de técnicas complementarias. Esto no solo mejora la interpretabilidad y robustez del modelo, sino que también permite una mejor validación mediante triangulación. No obstante, el uso exclusivo de FCM sigue siendo apropiado, especialmente en contextos exploratorios o cuando se prioriza la interpretabilidad y la transparencia.

De igual manera, el uso constante de modelos con aproximadamente entre 17 y 20 factores confirma que este rango representa un equilibrio óptimo entre la complejidad del modelo y la manejabilidad cognitiva en la representación de sistemas causales.

En síntesis, este análisis ha permitido evidenciar las principales tendencias metodológicas y temáticas asociadas al uso de los Mapas Cognitivos Difusos en la gestión de cadenas de suministro, destacando tanto sus aplicaciones consolidadas como los vacíos existentes en la literatura. A partir de este diagnóstico, se han propuesto líneas de mejora orientadas a fortalecer la integración metodológica, diversificar los campos de aplicación y fomentar la adopción de modelos más avanzados como los Mapas Cognitivos Neutrosóficos.

Estas propuestas no solo buscan optimizar el análisis causal en sistemas logísticos complejos, sino también ofrecer una base estructurada para futuras investigaciones que demanden herramientas analíticas capaces de representar, con mayor precisión, la incertidumbre inherente a los entornos operativos actuales.

Conclusiones

Una vez culminada la presente investigación se llega a las siguientes conclusiones:

- La revisión sistemática permitió identificar un total de 110 artículos científicos vinculados a la aplicación de mapas cognitivos en cadenas de suministro. De estos, todos aplicaban exclusivamente Mapas Cognitivos Difusos (FCM) como técnica central o combinada, evidenciando una consolidación metodológica de esta herramienta. No se encontraron aplicaciones empíricas directas de Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) en este contexto, lo cual pone en evidencia una importante brecha de investigación y un vacío metodológico en el uso del enfoque neutrosófico en el ámbito logístico.
- Se observó una gran diversidad en la combinación de técnicas metodológicas junto a los FCM. Aunque la mayoría de los artículos integran herramientas adicionales, solo unas pocas técnicas aparecen con recurrencia, como AHP, simulación, Delphi clásico o análisis multicriterio. El 69,09% de los estudios usó metodologías distintas agrupadas como "otras técnicas", mientras que apenas el 17,27% se basó exclusivamente en FCM. Este hallazgo evidencia tanto la flexibilidad del FCM como la falta de estandarización en su uso combinado.
- Los artículos revisados modelaron una amplia gama de procesos relacionados a la cadena de suministro, incluyendo gestión de riesgos, desempeño organizacional, sostenibilidad, selección de proveedores y adopción tecnológica. Se identificaron desde modelos con 4 factores hasta configuraciones más complejas con más de 20 elementos interrelacionados. Esta variabilidad confirma la capacidad del FCM para representar sistemas con múltiples niveles de complejidad y relaciones causales interdependientes.
- Se verificó que los FCM, al basarse en lógica difusa, permiten representar incertidumbre gradual, pero presentan limitaciones al momento de capturar ambigüedad estructural o contradicción entre expertos. Por el

contrario, los NCM, fundamentados en lógica neutrosófica, permiten representar de manera simultánea los grados de verdad, falsedad e indeterminación, lo cual amplía la expresividad del modelo. Sin embargo, su escasa adopción en estudios logísticos impide realizar comparaciones empíricas, lo que refuerza la necesidad de su incorporación en futuras investigaciones.

- El análisis comparativo evidencia que los Mapas Cognitivos Difusos han sido ampliamente adoptados en la literatura científica como herramienta para modelar sistemas logísticos en condiciones de incertidumbre. No obstante, presentan restricciones metodológicas cuando se enfrentan a entornos de mayor complejidad epistémica. La lógica neutrosófica, aunque prometedora, no ha sido aprovechada plenamente en este campo. Por tanto, se concluye que existe una oportunidad metodológica relevante para avanzar hacia modelos híbridos o alternativos que integren los beneficios de ambos enfoques, promoviendo así una representación más robusta y realista de los sistemas de cadena de suministro bajo condiciones VUCA.

Recomendaciones

De acuerdo con las conclusiones presentadas se recomienda:

- Fomentar la aplicación empírica de Mapas Cognitivos Neutrosóficos (NCM) en cadenas de suministro

Dado que no se encontraron estudios que implementen directamente los NCM en contextos logísticos, se recomienda promover investigaciones aplicadas que validen sus capacidades representacionales. Estas futuras aplicaciones permitirán contrastar de forma empírica su desempeño frente a los FCM, especialmente en escenarios caracterizados por contradicciones e indeterminación estructural.

- Desarrollar marcos metodológicos híbridos entre FCM y NCM

Ante la comprobada utilidad de los FCM y el potencial superior de los NCM para representar incertidumbre compleja, se sugiere diseñar esquemas integradores

que combinen ambas técnicas. Esta hibridación fortalecería la capacidad analítica de los modelos, permitiendo representar con mayor precisión fenómenos con múltiples niveles de verdad, falsedad e indefinición, propios de las decisiones logísticas bajo entorno VUCA.

- Establecer protocolos estandarizados para el uso combinado de FCM con técnicas complementarias

Los resultados evidenciaron una amplia pero dispersa integración de los FCM con otras metodologías. Se recomienda sistematizar el uso de técnicas como AHP, DEMATEL, Delphi o modelos multicriterio, mediante la formulación de guías metodológicas que faciliten su aplicación replicable, transparente y científicamente validada.

- Ampliar el campo de aplicación de los FCM hacia áreas subrepresentadas

Si bien los FCM han sido mayoritariamente aplicados en evaluación de riesgos, desempeño y tecnología, se identificó baja representación en áreas como gestión ambiental, logística inversa o economía circular. Se recomienda extender su aplicación hacia estos ámbitos, donde la complejidad y la incertidumbre también requieren enfoques causales estructurados.

- Fortalecer la formación académica en lógica neutrosófica y modelación avanzada

Para facilitar la adopción de los NCM y otras técnicas cognitivas avanzadas, es fundamental incorporar contenidos formativos específicos en programas de posgrado y líneas de investigación. Esto permitirá ampliar la comunidad científica capacitada en herramientas emergentes de representación causal y análisis de incertidumbre estructural.

- Diseñar estudios comparativos experimentales entre FCM y NCM en escenarios controlados

Como línea futura, se recomienda llevar a cabo investigaciones experimentales que apliquen ambos enfoques a un mismo sistema logístico, bajo criterios metodológicos equivalentes. Esta estrategia permitiría evaluar cuantitativamente

la eficacia de cada modelo en términos de precisión, expresividad y capacidad para manejar contradicciones, consolidando así un marco de comparación empírico robusto.

Bibliografía

- Abdel-Basset, M., Mohamed, R., Zaid, A. E. N. H., & Smarandache, F. (2019). A Hybrid Plithogenic Decision-Making Approach with Quality Function Deployment for Selecting Supply Chain Sustainability Metrics. *Symmetry* 2019, Vol. 11, Page 903, 11(7), 903. <https://doi.org/10.3390/SYM11070903>
- Ageeli, A. A. (2024). A Neutrosophic Decision-Making Methods of the Key Aspects for Supply Chain Management in International Business Administrations. *International Journal of Neutrosophic Science*, 23(1), 155–166. <https://doi.org/10.54216/IJNS.230114>
- Axelrod, R. (1976). Structure of decision: The cognitive maps of political elites. *Princeton University Press, Ed.*
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Marcucci, G., & Mazzuto, G. (2020). Fuzzy cognitive maps approach for analysing the domino effect of factors affecting supply chain resilience: a fashion industry case study. *International Journal of Production Research*, 58(20), 6370–6398. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680893>
- Büyüközkan, G., & Vardaloglu, Z. (2012). Analyzing of CPFR success factors using fuzzy cognitive maps in retail industry. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 10438–10455. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2012.02.014>
- Chakraborty, A., Mondal, S. P., Ahmadian, A., Senu, N., Alam, S., & Salahshour, S. (2018). Different Forms of Triangular Neutrosophic Numbers, De-Neutrosophication Techniques, and their Applications. *Symmetry* 2018, Vol. 10, Page 327, 10(8), 327. <https://doi.org/10.3390/SYM10080327>
- Chen, R. Y. (2015). Autonomous tracing system for backward design in food supply chain. *Food Control*, 51, 70–84. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2014.11.004>
- Felix, G., Nápoles, G., Falcon, R., Froelich, W., Vanhoof, K., & Bello, R. (2019). A review on methods and software for fuzzy cognitive maps. *Artificial*

Intelligence Review, 52(3), 1707–1737. <https://doi.org/10.1007/S10462-017-9575-1/METRICS>

- González Ortega, R., David Oviedo Rodríguez, M., Leyva Vázquez, M., Ricardo, J. E., Alcione, J., Figueiredo, S., & Smarandache, F. (2019). Pestel analysis based on neutrosophic cognitive maps and neutrosophic numbers for the sinos river basin management. *Neutrosophic Sets and Systems*, 26, 105–113. <https://fs.unm.edu/nss8/index.php/111/article/view/158>
- Grzybowska, K., & Tubis, A. A. (2022). Supply Chain Resilience in Reality VUCA—An International Delphi Study. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 10711, 14(17), 10711. <https://doi.org/10.3390/SU141710711>
- Irani, Z., Sharif, A., Kamal, M. M., & Love, P. E. D. (2014). Visualising a knowledge mapping of information systems investment evaluation. *Expert Systems with Applications*, 41(1), 105–125. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2013.07.015>
- Irani, Z., Sharif, A. M., Lee, H., Aktas, E., Topaloğlu, Z., van't Wout, T., & Huda, S. (2018). Managing food security through food waste and loss: Small data to big data. *Computers & Operations Research*, 98, 367–383. <https://doi.org/10.1016/J.COR.2017.10.007>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2021). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning and Control*, 32(9), 775–788. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>
- Kamal, E., Abdel-Gawad, A. F., & Zaki, S. (2023). Neutrosophic-based Machine Learning Techniques in the Context of Supply Chain Management: A Survey. *International Journal of Neutrosophic Science*, 21(2), 142–160. <https://doi.org/10.54216/IJNS.210213>
- Kandasamy, W. B. V., & Smarandache, F. (2003). *Fuzzy Cognitive Maps and Neutrosophic Cognitive Maps*. <http://PublishingOnline.com>

- Karatzinis, G. D., & Boutalis, Y. S. (2025). A Review Study of Fuzzy Cognitive Maps in Engineering: Applications, Insights, and Future Directions. *Eng* 2025, Vol. 6, Page 37, 6(2), 37. <https://doi.org/10.3390/ENG6020037>
- Kayikci, Y. (2020). Stream processing data decision model for higher environmental performance and resilience in sustainable logistics infrastructure. *Journal of Enterprise Information Management*, 34(1), 140–167. <https://doi.org/10.1108/JEIM-08-2019-0232>
- Kim, M. C., Kim, C. O., Hong, S. R., & Kwon, I. H. (2008). Forward–backward analysis of RFID-enabled supply chain using fuzzy cognitive map and genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 35(3), 1166–1176. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2007.08.015>
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1), 65–75. [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(86\)80040-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(86)80040-2)
- López, C., & Ishizaka, A. (2019). A hybrid FCM-AHP approach to predict impacts of offshore outsourcing location decisions on supply chain resilience. *Journal of Business Research*, 103, 495–507. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2017.09.050>
- Moore, R. E. (1979). Methods and Applications of Interval Analysis. *Methods and Applications of Interval Analysis*. <https://doi.org/10.1137/1.9781611970906>
- Paraskevas, A., Madas, M., & Nikolaidis, Y. (2025). Using Neutrosophic Cognitive Maps to Support Group Decisions About Modeling and Analyzing Smart Port Performance. *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 1981, 15(4), 1981. <https://doi.org/10.3390/APP15041981>
- Roy, S., Das, M., Ali, S. M., Raihan, A. S., Paul, S. K., & Kabir, G. (2020). Evaluating strategies for environmental sustainability in a supply chain of an emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 262. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121389>
- Sahu, A. K., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2017). Evaluation of performance index in resilient supply chain: a fuzzy-based approach. *Benchmarking: An*

- International Journal*, 24(1), 118–142. <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0068>
- Shojaei, P., & Haeri, S. A. S. (2019). Development of supply chain risk management approaches for construction projects: A grounded theory approach. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 837–850. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2018.11.045>
- Shokouhyar, S., Pahlevani, N., & Mir Mohammad Sadeghi, F. (2019). Scenario analysis of smart, sustainable supply chain on the basis of a fuzzy cognitive map. *Management Research Review*, 43(4), 463–496. <https://doi.org/10.1108/MRR-01-2019-0002>
- Shukla, S., & KC, S. (2023). Leveraging Blockchain for sustainability and supply chain resilience in e-commerce channels for additive manufacturing: A cognitive analytics management framework-based assessment. *Computers & Industrial Engineering*, 176, 108995. <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2023.108995>
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Yousefi, S., & Mohamadpour Tosarkani, B. (2022). An analytical approach for evaluating the impact of blockchain technology on sustainable supply chain performance. *International Journal of Production Economics*, 246, 108429. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2022.108429>
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)