

# **APLICACIÓN DE LA TEORÍA NEUTROSÓFICA PARA EL TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LA CADENA DE SUMINISTRO.**

## **APPLICATION OF THE NEUTROSOPHICAL THEORY TO DEAL WITH UNCERTAINTY IN SUPPLY CHAIN RISK MANAGEMENT.**

Rafael Rojas-Gualdrón<sup>1</sup>,

Florentín Smarandache<sup>2</sup>,

Carlos Díaz-Bohorquez<sup>3</sup>

### **Resumen**

Debido a la creciente complejidad e interrelación de las cadenas de suministro modernas, la probabilidad de ocurrencia e impacto esperado de un riesgo se han vuelto difíciles o incluso imposibles de predecir, llevando a los investigadores a buscar minimizar el impacto que genera la incertidumbre en la gestión del riesgo en la cadena de suministro, la cual debido a su complejidad aún no presenta una solución absoluta y se encuentra abierta a nuevos aportes. El presente artículo se propone realizar una revisión de literatura con el objetivo de evaluar la aplicación de la teoría neutrosófica en el tratamiento de la incertidumbre enfocada en la gestión del riesgo en la cadena de suministro valiéndose para esto de una conceptualización sobre el riesgo, la incertidumbre, la cadena de suministro y la teoría neutrosófica, y buscando establecer una relación entre ellas al ilustrar como la incertidumbre del mundo real hace que los riesgos a los que se ve expuesta una cadena de suministro no puedan ser cuantificados por medio de la matemática convencional, pero si en el dominio de la neutrosofía. Se presentan además algunos artículos con aplicaciones exitosas en la toma de decisiones bajo algún grado de incertidumbre para finalmente llegar a uno en el cual convergen estos

---

<sup>1</sup> Ingeniero Mecatrónico. Estudiante de Maestría en Ingeniería Industrial en la Universidad Industrial de Santander con trabajo de investigación titulado Sistema Experto Probabilístico Neutrosófico para selección de estrategias en la gestión del riesgo en la cadena de suministro.

<sup>2</sup> Postdoc, PhD en Matemáticas. Profesor de Matemáticas en University of New Mexico, Estados Unidos, postuló en 1998 la Teoría Neutrosófica.

<sup>3</sup> Magíster en Ingeniería Industrial, director del grupo de investigación OPALO de la Universidad Industrial de Santander.

Fecha de recepción: Febrero de 2018 / Fecha de aceptación en forma revisada: Octubre 2019

conceptos, llegando a la conclusión de que por medio de esta nueva teoría es posible cuantificar los riesgos en función de la opinión cualitativa de expertos para ser incluida en modelos cuantitativos de optimización en la gestión de riesgos de la cadena de suministro.

**Palabras clave:** Gestión de la Cadena de Suministro, Gestión del Riesgo, Evaluación del Riesgo, Cuantificación de la Incertidumbre, Teoría Neutrosófica.

### **Abstract**

Due to the increasing complexity and interrelation of modern supply chains, the probability of occurrence and expected impact of a risk has become difficult or even impossible to predict, leading researchers to seek to minimize the impact generated by uncertainty in supply chain risk management, which due to its complexity does not yet present an absolute solution and is open to new contributions. This article proposes to review the literature with the objective of evaluating the application of the neutrosophical theory in the treatment of uncertainty focused on supply chain risk management, using a conceptualization of risk, uncertainty, supply chain and the neutrosophical theory, and seeking to establish a relationship between them by illustrating how the uncertainty of the real world means that the risks to which a supply chain is exposed cannot be quantified by means of conventional mathematics, but in the domain of neutrosophy. There are also some articles with successful applications in decision-making under some degree of uncertainty to finally reach one in which these concepts converge, reaching the conclusion that through this new theory it is possible to quantify the risks based on the qualitative opinion of experts to be included in quantitative models of optimization in supply chain risk management.

**Keywords:** Supply Chain Management, Risk Management, Risk Assessment, Uncertainty Quantification, Neutrosophic Theories.

### **Introducción**

Desde el año 1982 cuando Keith Oliver, un consultor en Booz Allen Hamilton, introdujo al dominio público el concepto de cadena de suministro (Oliver & Webber, 1982) en una entrevista para el Financial Times, el término comenzó a afianzarse e incluirse en el

léxico de los negocios para luego convertirse en tema de una gran cantidad de publicaciones y popularizarse rápidamente como un término regular en los nombres de los puestos de algunos funcionarios.

Por otro lado, los conceptos de riesgo y evaluación del riesgo tienen una larga historia. Hace ya más de 2400 años, los griegos ofrecían sus capacidades para evaluar riesgos antes de tomar decisiones (Bernstein, 1996). No obstante, la evaluación y la gestión de riesgos como un área específica de conocimiento es relativamente joven, con no más 40 años de existencia. Desde entonces ha tenido un desarrollo considerable, apareciendo nuevos y cada vez más sofisticados enfoques y métodos analíticos que han venido siendo aplicados a diferentes campos (Aven, 2016).

La contratación de servicios por medio de terceros, el manejo de menores niveles de inventario, algunas políticas como el Just-In-Time y ciclos de vida de los productos cada vez más cortos han incrementado considerablemente los riesgos a los que se ven expuestas las cadenas de suministro (SCR) (Colicchia & Strozzi, 2012; Trkman, Oliveira, & McCormack, 2016). La fuente de dichos riesgos puede deberse a desastres naturales o simplemente a fallas humanas, pero en ambos casos pueden generar un impacto negativo en las organizaciones bien sea a nivel financiero, operacional, o cualquier otro que lleve a interrumpir el normal funcionamiento de los negocios (Craighead, Blackhurst, Rungtusanatham, & Handfield, 2007; Rajesh & Ravi, 2015). Esta realidad ha hecho que en los últimos años, la gestión del riesgo en la cadena de suministro (SCRM) se haya venido convirtiendo en un tema de interés (Yiyi, 2018), debido a que esta gestión se encarga de desarrollar estrategias para la identificación, evaluación, tratamiento y monitoreo de los riesgos que afectan las cadenas de suministro (Ho, Zheng, Yildiz, & Talluri, 2015; Neiger, Rotaru, & Churilov, 2009; Tummala & Schoenherr, 2011).

La aparición de estos nuevos riesgos se convierte en un reto para las empresas que deben aprender a gestionar los cambios en su entorno provocados bien sea por innovaciones tecnológicas (Henderson & Clark, 1990), cambios en políticas y regulaciones (K. Smith & Grimm, 1987) o por crisis que se presentan en el mercado (Haveman, 1992). Algunas de estas organizaciones se han ido adaptando, mientras muchas otras aun sufren el efecto de fuertes fuerzas inerciales provocadas por los cambios mencionados anteriormente. Como se ha sugerido, no son estos cambios en el entorno en sí mismos los que los hacen difíciles de

manejar, sino la incapacidad asociada de los gerentes para evaluar lo que significan estos cambios (Knight, 1965). La elaboración de estrategias en este entorno cambiante se convierte en un desafío para que los gerentes relacionen las opciones estratégicas con su comprensión del entorno (Bower, 1970), en el cual no se puede comprender la situación que está en juego y la información del entorno como un conjunto de señales fácilmente reconocibles. Por lo tanto la realización de estrategias bajo incertidumbre puede ser comprendida como un balance entre el marco que debería guiar la comprensión de un entorno ambiguo y las opciones sobre cómo responder a él (Kaplan, 2008). Este grado de desconocimiento acerca del comportamiento a futuro del entorno, el cual implica una previsibilidad imperfecta de los hechos, es decir, un evento en el que no se conoce la probabilidad de que ocurra determinada situación es lo que conocemos como incertidumbre.

El tratamiento de la incertidumbre, principalmente en la toma de decisiones, ha sido abordado desde diferentes perspectivas debido a que no existe un modelo que sea válido para todos los casos. Existen modelos con enfoques probabilísticos como las redes bayesianas, modelos con enfoques posibilísticos que utilizan, por ejemplo, la lógica difusa, entre otros modelos. En los últimos años, se ha generado una tendencia hacia la investigación en el tratamiento de la incertidumbre por medio de la teoría neutrosófica (Smarandache, 1995), la cual estudia el origen, naturaleza y alcance de las neutralidades. La lógica y los conjuntos neutrosóficos por su parte, constituyen una generalización de la lógica y los conjuntos difusos (L. Zadeh, 1965), y especialmente de la lógica intuicionista (Atanassov, 1999), con múltiples aplicaciones en el campo de la toma de decisiones, segmentación de imágenes y aprendizaje automático, por citar solo algunos ejemplos (Smarandache & Leyva-Vasquez, 2018).

### **Gestión del riesgo en la cadena de suministro**

Si bien numerosas discusiones y estudios han considerado la definición de gestión de riesgo en la cadena de suministro (SCRM), todavía no hay consenso (Diehl & Spinler, 2013; Sodhi, Son, & Tang, 2012). Sin embargo, podemos definir SCRM como la intersección entre la gestión de la cadena de suministro y la gestión del riesgo, como se puede observar en la figura 1, por lo cual procedemos a definir cada uno de estos términos.

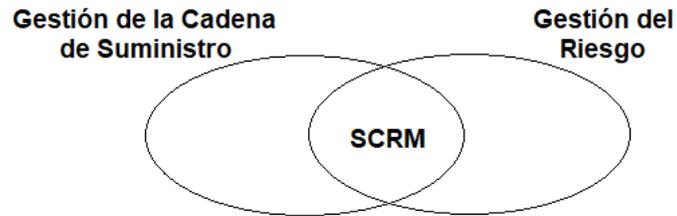


Figura 1. Descripción Conceptual de SCRМ (Paulsson, 2004)

### Gestión de la cadena de suministro

La definición adoptada oficialmente por el Consejo de Profesionales de Gestión de la Cadena de Suministro (Council of Supply Chain Management Professionals, 2019) nos indica que esta abarca la planificación y la gestión de toda actividad relacionada con el aprovisionamiento y adquisición, la conversión y toda actividad logística, incluyendo las actividades de coordinación y colaboración con los socios del canal, entre ellos proveedores, intermediarios, prestadores de servicios externos y clientes. En resumen, la gestión de la cadena de suministro integra la gestión de la oferta y la demanda dentro y entre las empresas.

### Gestión del riesgo

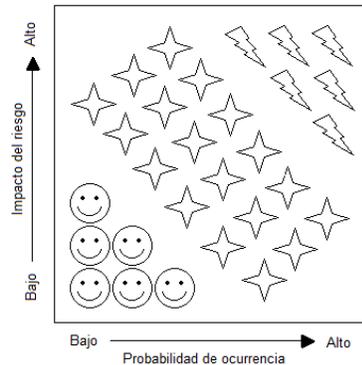
La gestión del riesgo es dividida por Ritchie y Brindley (2007) en tres dimensiones:

1. Probabilidad de ocurrencia.
2. Impacto esperado.
3. Detección de causas.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de ocurrencia} \times \text{Impacto esperado} \times \text{Detección}$$

Las empresas suelen clasificar el riesgo en una cantidad reducida de niveles debido a que la probabilidad de ocurrencia y el impacto esperado no se pueden estimar de una forma exacta y precisa. Para ello generalmente se valen de matrices de riesgo e impacto como la que se observa en la figura 2, las cuales aumentan la visibilidad de los riesgos y facilitan la toma de decisiones (Kester, 2013), valiéndose de un análisis de riesgos cualitativos y cuantitativos presentes en la cadena de suministro, considerando las probabilidades de ocurrencia e impacto esperado como valores subjetivos y objetivos respectivamente (Norman & Lindroth, 2004). Estos dos elementos son críticos para determinar la necesidad de una acción para combatir un riesgo en la cadena de suministro. Comúnmente se consideran tres niveles de riesgo: el primero, presenta una condición segura en la cual tanto la probabilidad

de ocurrencia como el impacto esperado de un riesgo son bajos, se conoce como riesgo de bajo nivel y no requiere ningún esfuerzo para su gestión; el segundo, en el cual existen probabilidades e impactos considerables, conocido como riesgo de nivel medio y amerita un seguimiento; el tercer nivel de dificultad, en el cual la probabilidad de ocurrencia o el impacto esperado o ambos son moderados o altos y requiere un manejo cuidadoso (Khojasteh, 2018).



*Figura 2. Matriz de riesgo e impacto*

### **Definición de gestión de riesgo en la cadena de suministro (SCRM)**

SCRM puede tener diversas definiciones. Por ejemplo, Tang (2006), describió SCRM como “la gestión del riesgo de la cadena de suministro a través de la coordinación o la colaboración entre los socios de la cadena de suministro para garantizar la rentabilidad y la continuidad”. Thun & Hoenig (2011) informaron que una característica específica de SCRM, a diferencia de la gestión de riesgos tradicional, es que “SCRM se caracteriza por una orientación hacia la colaboración entre empresas con el objetivo de identificar y reducir los riesgos no solo a nivel de la empresa, sino enfocado hacia toda la cadena de suministro”. Más adelante, Ho et al. (2015) definen SCRM como la implementación de estrategias para gestionar tanto los riesgos diarios como los riesgos excepcionales a lo largo de la cadena de suministros basados en la evaluación continua de riesgos con el objetivo de reducir la vulnerabilidad y garantizar la continuidad.

### **Clasificación de los riesgos que afectan la cadena de suministro**

Se puede clasificar los riesgos que afectan la cadena de suministro en tres componentes principales:

1. *Riesgos de suministro*: son aquellos riesgos que ocurren del lado de los proveedores y que pueden entorpecer el normal funcionamiento de la cadena al presentar retrasos e interrupciones en suministro del material de entrada.
2. *Riesgo de demanda*: son aquellos riesgos que ocurren del lado de los clientes y que pueden generar variaciones en la demanda.
3. *Riesgo de proceso*: son aquellos riesgos que ocurren en el propio proceso de las organizaciones y que pueden ocurrir durante la fabricación o el almacenamiento.

### **Cuantificación de los riesgos**

En situaciones reales, nos enfrentamos a condiciones inciertas debido a la falta de datos y la falta de conocimiento sobre la mayoría de los parámetros (Mohajeri & Fallah, 2016). También se considera la incertidumbre en términos de probabilidad y posibilidad. En casos probabilísticos, la función de distribución se puede encontrar a través de experimentos, donde se utilizan enfoques de programación estocástica para hacer frente a la aleatoriedad de los parámetros (Liu & Iwamura, 1998).

Debido a la falta de información y de conocimiento sobre la mayoría de los parámetros que enfrentamos en situaciones reales debemos considerar la incertidumbre en términos de probabilidad y posibilidad (Mohajeri & Fallah, 2016). Para los fenómenos que podemos describir de forma probabilística la función de distribución se puede calcular a través de experimentos utilizando un enfoque de programación estocástica para enfrentar la naturaleza aleatoria de los parámetros (Liu & Iwamura, 1998). Para aquellos casos que no pueden ser descritos de esta forma se introduce en 1978 por primera vez la teoría de la posibilidad (L. Zadeh, 1978) como una extensión de la teoría de conjuntos difusos y de la lógica difusa. La teoría de la posibilidad se utiliza para medir parámetros subjetivos relacionados con los argumentos de conjuntos difusos y son de utilidad en casos que involucran información incompleta o parámetros desconocidos (Mohajeri & Fallah, 2016).

Heckman, Hsieh, & Schwartz (2015) exponen que, en un problema de optimización estocástica, para tomar decisiones que restringen el alcance del riesgo, a menudo se requiere cuantificar el riesgo.

En ocasiones, los tomadores de decisiones necesitan cuantificar parámetros imprecisos sujetos a incertidumbre buscando evaluar y comparar diferentes soluciones que

limiten el alcance de los riesgos, valiéndose para esto del uso de la desviación estándar, algunos enfoques de varianza media y el valor condicional de los riesgos intentando describir la interacción de la incertidumbre y el alcance de su daño o beneficio relacionado (Khojasteh, 2018). Al no existir medidas cuantitativas que reflejen la compleja realidad en la que se encuentran las cadenas de suministro se hace necesario medirlas por medio de la probabilidad y la gravedad de los efectos adversos que provocan o al alcance de las pérdidas que producen (Fishburn, 1984; Haimes, Kaplan, & Lambert, 2002; Morgan, Henrion, & Small, 1992).

### **Cuantificación de la incertidumbre**

Podemos definir la cuantificación de la incertidumbre como la fusión de la teoría de la probabilidad y la estadística con el mundo real. Esta junto a la estimación de parámetros son dos tareas cruciales en la práctica de modelado de sistemas (Wang, Wang, Wang, Gao, & Yu, 2017).

Debido a la falta de conocimiento sobre algunos parámetros físicos importantes, la variabilidad aleatoria en las circunstancias de operación o simplemente a la ignorancia absoluta acerca de cual es la forma correcta de realizar un modelo, en los últimos años muchos modelos de ingeniería que venían siendo trabajados de forma determinística han ido incorporando algún elemento de incertidumbre para explicar estos fenómenos (Duell, Grzybowska, Rey, & Waller, 2019; Ramalho, Ekel, Pedrycz, Pereira Junior, & Soares, 2019) con el fin de proporcionar predicciones más precisas sobre el comportamiento de los diferentes sistemas (Sullivan, 2015).

### **Incetidumbre aleatoria y epistémica**

La incertidumbre puede ser dividida en dos componentes: la incertidumbre aleatoria y la incertidumbre epistémica (Celik & Ellingwood, 2010). La incertidumbre aleatoria se refiere a aquella que posee un fenómeno que es inherentemente variable y proviene del latín *alea* que significa dado. Por otro lado, la incertidumbre epistémica hace referencia a la incertidumbre que surge por la falta de conocimiento y proviene del griego *episteme* que significa conocimiento. En un modelo la incertidumbre epistémica se presenta al no conocerse con seguridad si un modelo es correcto o el más indicado lo cual genera dudas significativas de si el modelo se puede considerar estructuralmente correcto. También se

puede presentar si se cree que el modelo es un reflejo fiel de la realidad, pero no hay seguridad sobre los valores que deben tomar los parámetros que contiene.

Si bien en algunas ocasiones no parece muy clara la diferencia entre incertidumbre aleatoria y epistémica podemos utilizar el ejemplo del lanzamiento del dado para ilustrarla. Es conocido por todos que el lanzamiento de un dado es un evento incierto de forma aleatoria que puede modelarse como una probabilidad. Pero ¿y si tenemos en cuenta que no sabemos hasta que punto el dado tiene las medidas perfectas o hasta que punto la velocidad del viento puede influir en el lanzamiento? Es allí donde las dudas que provienen de la falta de conocimiento generan la incertidumbre epistémica. Por otro lado, algunas formas de incertidumbre son más epistémicas que aleatorias, por ejemplo, cuando los físicos no han podido llegar a un consenso sobre la teoría de todo, demuestran una falta de conocimiento sobre las leyes de la física en nuestro universo (Phillips & Elman, 2015) y su correcta descripción matemática. Aun así, sin importar la interpretación que le demos, la teoría de la probabilidad es una poderosa herramienta para describir la incertidumbre (Sullivan, 2015).

### Usos comunes de la cuantificación de la incertidumbre

Muchos objetivos comunes de la cuantificación de la incertidumbre se pueden ilustrar en el contexto de un sistema,  $F$ , que asigna las entradas  $x$  en algún espacio  $X$  a las salidas  $y = F(x)$  en algún espacio  $Y$ . Algunos objetivos comunes de la cuantificación de la incertidumbre incluyen:

- *La confiabilidad o problema de certificación.* Supongamos un conjunto  $Y_{fail} \subseteq Y$  como un conjunto de fallos, es decir, el resultado  $F(x) \in Y_{fail}$  es indeseable de alguna manera (Cheng, Wang, & Yan, 2016). Dada la información apropiada sobre las entradas  $x$  y el proceso de envío  $F$ , determine la probabilidad de falla,

$$P_{\mu}[F(x) \in Y_{fail}]$$

Además, en el caso de una falla, ¿cuán grande será la desviación del desempeño aceptable y cuáles son las consecuencias?

- *El problema de predicción* (Zuber, Cabral, McFadyen, Mauger, & Mathews, 2018). Dualmente al problema de confiabilidad, dada una probabilidad máxima aceptable de error  $\epsilon > 0$ , encuentre un conjunto  $Y_{\epsilon} \subseteq Y$  tal que

$$P_{\mu}[F(X) \in Y_{\epsilon}] \geq 1 - \epsilon$$

es decir, la predicción  $F(x) \in Y_\varepsilon$  está equivocada con la probabilidad como máximo  $\varepsilon$ .

- *Un problema inverso, como la estimación del estado a menudo para una cantidad que está cambiando en el tiempo o la identificación de parámetros* (Parlitz, Schumann-Bischoff, & Luther, 2014) generalmente para una cantidad que no está cambiando, o es un parámetro del modelo no físico. Dado el conjunto  $Y$  de observaciones de salida que puede estar corrompida o no ser confiable de alguna manera, ¿será posible determinar las entradas correspondientes  $X$  de manera que  $F(X) = Y$ ? ¿En qué sentido son algunas estimaciones para  $X$  más o menos confiables que otras?

- *La reducción del modelo o el problema de calibración del modelo* (Kurmann, 2005). Formular otra función  $F_h$  de tal manera que  $F_h \approx F$  en un sentido apropiado. La cuantificación de la precisión de la aproximación puede ser en sí misma un problema de certificación o predicción.

Un problema de cuantificación de la incertidumbre puede convertirse fácilmente en varios problemas acoplados. Los problemas típicos que se deben enfrentar al abordar estos problemas incluyen la alta dimensión de los espacios de parámetros asociados con problemas prácticos (Hidalgo, Manzur, Olavarrieta, & Farías, 2007); la aproximación de integrales (valores esperados) por cuadratura numérica; el costo de evaluar funciones que a menudo corresponden a costosas simulaciones por computadora o experimentos físicos; y la incertidumbre epistémica (Samaniego, 2010) no despreciable sobre la forma correcta de los ingredientes vitales en el análisis, como las funciones y las medidas de probabilidad en integrales clave (Sullivan, 2015).

### **La teoría neutrosófica**

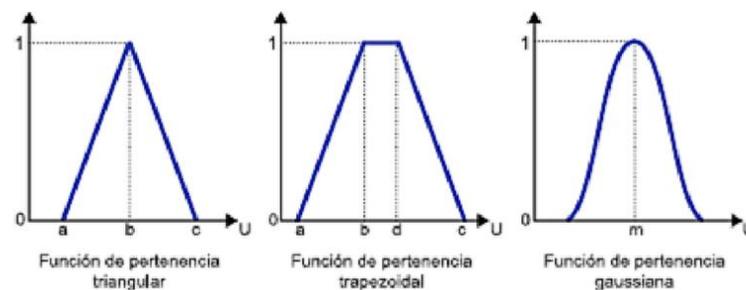
La neutrosofía (Smarandache, 1998) es definida por Leyva-Vasquez y Smarandache (2018) como “una nueva rama de la filosofía que estudia el origen, naturaleza y alcance de las neutralidades, así como sus interacciones con diferentes espectros ideacionales:  $\langle A \rangle$  es una idea, proposición, teoría, evento, concepto o entidad,  $\langle \text{anti}A \rangle$  es el opuesto de  $\langle A \rangle$  y  $\langle \text{neut}A \rangle$  significa ni  $\langle A \rangle$  ni  $\langle \text{anti}A \rangle$ , es decir, la neutralidad entre los dos extremos (Smarandache, 1998)”. Etimológicamente neutrosofía proviene del latín “neuter” que significa neutral y del griego “sophia” que significa conocimiento y se define como el conocimiento de los pensamientos neutrales (Smarandache, 1995). Su teoría fundamental

afirma que toda idea  $\langle A \rangle$  tiende a ser neutralizada, disminuida o balanceada por  $\langle \text{no}A \rangle$  como un estado de equilibrio. Cabe destacar que  $\langle \text{not}A \rangle$  se refiere a todo aquello que no es  $A$ , es decir,  $\langle \text{anti}A \rangle$  o  $\langle \text{neut}A \rangle$ . En su forma clásica  $\langle A \rangle$ ,  $\langle \text{neut}A \rangle$  y  $\langle \text{anti}A \rangle$  son disjuntos de dos en dos. Como en varios casos los límites entre conceptos son vagos e imprecisos, es posible que  $\langle A \rangle$ ,  $\langle \text{neut}A \rangle$  y  $\langle \text{anti}A \rangle$  tengan partes comunes de dos en dos también.

Esta teoría ha constituido la base para la lógica neutrosófica (Smarandache, 1998), los conjuntos neutrosóficos (Haibin, Smarandache, Zhang, & Sunderraman, 2010), la probabilidad neutrosófica, la estadística neutrosófica y múltiples aplicaciones prácticas (Smarandache, 2003).

### Antecedentes

El conjunto difuso fue introducido por L. Zadeh (1965) planteando que cada elemento tiene un grado de pertenencia, es decir, añade a la teoría clásica de conjuntos una función de pertenencia (Del Brio & Molina, 2001). La función de pertenencia o inclusión  $U_A(t)$  indica el grado  $n$  en que la variable  $t$  está incluida en el concepto representado por la etiqueta  $A$  (Klir & Yuan, 1995). Para la definición de estas funciones de pertenencia se utilizan convenientemente ciertas familias de funciones, por coincidir con el significado lingüístico de las etiquetas más utilizadas. Las más utilizadas con mayor frecuencia son triangular, trapezoidal y gaussiana las cuales se observan en la figura 3.



*Figura 3. Representación gráfica de las funciones de pertenencia.*

El conjunto difuso intuicionista en un universo  $X$  fue introducido por Atanassov (1986) como una generalización de los conjuntos difusos donde, además del grado de pertenencia  $\mu_A(x) \in [0,1]$  de cada elemento  $x$  a un conjunto  $A$ , se consideró un grado de no

pertenencia  $\nu A(x) \in [0,1]$ , pero tal que para  $x \in X, \mu A(x) + \nu A(x) \leq 1$ .

El conjunto difuso y el conjunto difuso intuicionista son casos particulares del conjunto neutrosófico.

### **Aplicaciones**

En los últimos años, se ha aplicado la teoría neutrosófica en varios campos del conocimiento, principalmente para el tratamiento de la incertidumbre. Sólo por citar algunos casos, ha sido utilizada en medicina para la evaluación de los efectos tóxicos de los medicamentos biotransformados en el hígado (Basha, Tharwat, Abdalla, & Hassanien, 2019) utilizando un sistema de clasificación basado en reglas neutrosóficas, el cual genera una buena solución al problema de las clases superpuestas al generar tres componentes diferentes de los cuales dos tratarán con la falsedad e indeterminación de los datos siempre generando mejores resultados que otros modelos convencionales. Su aplicabilidad la encontramos también en un estudio de la sostenibilidad del transporte público (P. Smith, 2019) donde se ilustra un enfoque de toma de decisiones de atributos múltiples (*Multiple Attribute Decision Making*, MADM) para seleccionar sistemas de transporte de sostenibilidad bajo incertidumbre, es decir, con información parcial o incompleta que involucra conjuntos neutrosóficos de valor único. También podemos encontrar su aplicación en la selección de proveedores (Abdel-Baset, Chang, Gamal, & Smarandache, 2019) donde se propone un marco de trabajo que integra ANP (*Analytic Network Process*) con VIKOR (*ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje*) en un ambiente neutrosófico al utilizar los números neutrosóficos triangulares para representar variables lingüísticas que permiten considerar todos los aspectos de una toma de decisiones incluyendo inseguridad y falsedad.

El uso de la teoría neutrosófica integrada con la gestión del riesgo en la cadena de suministro es propuesto por Abdel-Basset, Gunasekaran, Mohamed y Chilamkurti (2019), en una investigación que tiene en cuenta los entornos inclementes que enfrentan las cadenas de suministro hoy, con un énfasis actual y duradero en la mejora continua, lo que se traduce en un aumento en los riesgos que se deben considerar para la cadena de suministro, haciendo necesaria su medición y evaluación para poder ser gestionados. Los riesgos son parámetros intangibles y difíciles de medir, y casi todos los temas de investigación utilizaron una

estimación cualitativa, generalmente descriptiva, que no ofrece una medición precisa del riesgo. Otros investigadores utilizaron métodos cuantitativos para medir los riesgos en la cadena de suministro, pero sin considerar la indeterminación que generalmente existe en el mundo real, por lo cual, sus resultados no fueron precisos y tampoco sus decisiones de gestión de riesgos.

Esta investigación integra AHP (*Analytic Hierarchy Process*) con la técnica TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) utilizando un conjunto neutrosófico para tratar mejor la incertidumbre, vaguedad e inconsistencia de la información. El método propuesto fue validado por medio de la aplicación a un estudio de caso real. El proceso de evaluación de los riesgos de la cadena de suministro se presenta utilizando números neutrosóficos triangulares en las matrices de comparación que más adelante son transformados a su valor nítido equivalente por medio de una función de puntuación. Esta metodología muestra muchas ventajas para realizar transacciones con información vaga, incierta e inconsistente que generalmente existe en el proceso de estimación de riesgos de la cadena de suministro.

### **Conclusiones**

Debido a los intensos cambios que enfrentan las cadenas de suministro y a la presión constante de incrementar su eficiencia, los riesgos en la cadena de suministro han ido en aumento. Una cadena de suministro se extiende hoy a muchos países y conlleva varios tipos de riesgos. Todos estos riesgos deben ser medidos y gestionados. El riesgo es de parámetros intangibles y es difícil de medir, razón por la cual en los temas de investigación se suele utilizar una estimación cualitativa que generalmente es descriptiva y no ofrece una medición precisa del riesgo y su incertidumbre.

Se puede apreciar la posibilidad que ofrece la teoría neutrosófica para realizar la cuantificación de los riesgos que afectan la cadena de suministro y que se encuentran expuestos a incertidumbre epistémica debido a las opiniones diversas y en gran parte cualitativas de los expertos en el área, logrando ajustar los parámetros de impacto esperado y probabilidad de ocurrencia de cada riesgo para ser utilizados en modelos de toma de decisiones para la selección de estrategias en la gestión del riesgo en la cadena de suministro.

### Referencias bibliográficas

- Abdel-Baset, M., Chang, V., Gamal, A., & Smarandache, F. (2019). An integrated neutrosophic ANP and VIKOR method for achieving sustainable supplier selection: A case study in importing field. *COMPUTERS IN INDUSTRY*, *106*, 94–110. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.12.017>
- Abdel-Basset, M., Gunasekaran, M., Mohamed, M., & Chilamkurti, N. (2019). A framework for risk assessment, management and evaluation: Economic tool for quantifying risks in supply chain. *FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS-THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ESCIENCE*, *90*, 489–502. <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.08.035>
- Atanassov, K. (1986). *Intuitionistic fuzzy sets. Fuzzy Sets and Systems*.
- Atanassov, K. (1999). *Intuitionistic Fuzzy: Sets, Theory and Applications*. Springer.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, *253*(1), 1–13.
- Bal, M., Shalla, M., & Olgun, N. (2018). Neutrosophic triplet cosets and quotient groups. *Symmetry*, *10*(4), 126.
- Basha, S. H., Tharwat, A., Abdalla, A., & Hassanien, A. E. (2019). Neutrosophic rule-based prediction system for toxicity effects assessment of biotransformed hepatic drugs. *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS*, *121*, 142–157. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.014>
- Bernstein, P. L. (1996). The new religion of risk management. *Harvard Business Review*, *74*(2), 47.
- Bower, J. (1970). *Managing the Resource Allocation Process: A Study of Corporate Planning and Investment*. Harvard Business School.
- Celik, O. C., & Ellingwood, B. R. (2010). Seismic fragilities for non-ductile reinforced concrete frames – Role of aleatoric and epistemic uncertainties. *Structural Safety*, *32*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.STRUSAFE.2009.04.003>
- Cheng, Q., Wang, S., & Yan, C. (2016). Robust optimal design of chilled water systems in buildings with quantified uncertainty and reliability for minimized life-cycle cost. *ENERGY AND BUILDINGS*, *126*, 159–169.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.032>

Colicchia, C., & Strozzi, F. (2012). Supply chain risk management: a new methodology for a systematic literature review. *Supply Chain Management: An International Journal*, 17(4), 403–418.

Council of Supply Chain Management Professionals. (2019). SCM Definitions and Glossary. [https://doi.org/10.1007/978-1-349-95810-8\\_371](https://doi.org/10.1007/978-1-349-95810-8_371)

Craighead, C. W., Blackhurst, J., Rungtusanatham, M. J., & Handfield, R. B. (2007). The severity of supply chain disruptions: design characteristics and mitigation capabilities. *Decision Sciences*, 38(1), 131–156.

Del Brio, B. M., & Molina, A. S. (2001). *Redes neuronales y sistemas borrosos*. Ra-ma.

Diehl, D., & Spinler, S. (2013). Defining a common ground for supply chain risk management - a case study in the fast-moving consumer goods industry. *INTERNATIONAL JOURNAL OF LOGISTICS-RESEARCH AND APPLICATIONS*, 16(4), 311–327. <https://doi.org/10.1080/13675567.2013.813443>

Duell, M., Grzybowska, H., Rey, D., & Waller, S. T. (2019). Strategic dynamic traffic assignment incorporating travel demand uncertainty. *TRANSPORTMETRICA B-TRANSPORT DYNAMICS*, 7(1), 950–966. <https://doi.org/10.1080/21680566.2018.1519468>

Fishburn, P. C. (1984). Foundations of Risk Measurement. I. Risk As Probable Loss. *Management Science*, 30(4), 396–406. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.4.396>

Haibin, W., Smarandache, F., Zhang, Y., & Sunderraman, R. (2010). *Single valued neutrosophic sets*. Infinite Study.

Haimes, Y. Y., Kaplan, S., & Lambert, J. H. (2002). Risk Filtering, Ranking, and Management Framework Using Hierarchical Holographic Modeling. *Risk Analysis*, 22(2), 383–397. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.00020>

Haveman, H. (1992). Between a rock and a hard place: Organizational change and performance under conditions of fundamental environmental transformation. *Administrative Science Quarterly*, 37, 37–45.

Heckman, C. R., Hsieh, M. A., & Schwartz, I. B. (2015). Going With the Flow: Enhancing

- Stochastic Switching Rates in Multitype Systems. *JOURNAL OF DYNAMIC SYSTEMS MEASUREMENT AND CONTROL-TRANSACTIONS OF THE ASME*, 137(3, SI).  
<https://doi.org/10.1115/1.4027828>
- Henderson, R., & Clark, K. (1990). Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly*, 35, 9–31.
- Hidalgo, P., Manzur, E., Olavarrieta, S., & Farías, P. (2007). Cuantificación de las distancias culturales entre países: un análisis de Latinoamérica. *Cuadernos de Administración*, 20(33).
- Ho, W., Zheng, T., Yildiz, H., & Talluri, S. (2015). Supply chain risk management: a literature review. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, 53(16), 5031–5069.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030467>
- Kaplan, S. (2008). Framing Contests: Strategy Making Under Uncertainty. *ORGANIZATION SCIENCE*, 19(5), 729–752. <https://doi.org/10.1287/orsc.1070.0340>
- Kester, Q. (2013). Application of Formal Concept Analysis to Visualization of the Evaluation of Risks Matrix in Software Engineering Projects. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, 2(1).
- Khojasteh, Y. (2018). *Supply Chain Risk Management. Advanced Tools, Models, and Developments*. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4106-8>
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications* (Vol. 574). Prentice Hall PTR New Jersey.
- Knight, F. (1965). *Risk, Uncertainty and Profit*. New York: Harper and Row.
- Kurmann, A. (2005). Quantifying the uncertainty about the fit of a new Keynesian pricing model. *JOURNAL OF MONETARY ECONOMICS*, 52(6), 1119–1134.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2005.08.004>
- Leyva-Vasquez, M., & Smarandache, F. (2018). *Neutrosophia: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre*.
- Liu, B., & Iwamura, K. (1998). Chance constrained programming with fuzzy parameters. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(2), 227–237. <https://doi.org/10.1016/S0165->

0114(96)00236-9

- Mohajeri, A., & Fallah, M. (2016). A carbon footprint-based closed-loop supply chain model under uncertainty with risk analysis: A case study. *TRANSPORTATION RESEARCH PART D-TRANSPORT AND ENVIRONMENT*, *48*, 425–450.  
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.09.001>
- Morgan, M., Henrion, M., & Small, M. (1992). *Uncertainty: a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*.
- Neiger, D., Rotaru, K., & Churilov, L. (2009). Supply chain risk identification with value-focused process engineering. *Journal of Operations Management*, *27*(2), 154–168.
- Norman, A., & Lindroth, R. (2004). Categorization of Supply Chain Risk and Risk Management. *Supply Chain Risk*.
- Oliver, R. K., & Webber, M. D. (1982). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. *Outlook*, *5*(1), 42–47.
- Parlitz, U., Schumann-Bischoff, J., & Luther, S. (2014). Quantifying uncertainty in state and parameter estimation. *PHYSICAL REVIEW E*, *89*(5).  
<https://doi.org/10.1103/PhysRevE.89.050902>
- Paulsson, U. (2004). Supply Chain Risk Management. In *Supply Chain Risk* (pp. 79–90).
- Phillips, E. G., & Elman, H. C. (2015). A stochastic approach to uncertainty in the equations of MHD kinematics. *JOURNAL OF COMPUTATIONAL PHYSICS*, *284*, 334–350.  
<https://doi.org/10.1016/j.jcp.2014.12.002>
- Rajesh, R., & Ravi, V. (2015). Modeling enablers of supply chain risk mitigation in electronic supply chains: A Grey--DEMATEL approach. *Computers & Industrial Engineering*, *87*, 126–139.
- Ramalho, F. D., Ekel, P. Y., Pedrycz, W., Pereira Junior, J. G., & Soares, G. L. (2019). Multicriteria decision making under conditions of uncertainty in application to multiobjective allocation of resources. *INFORMATION FUSION*, *49*, 249–261.  
<https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.12.010>
- Ritchie, B., & Brindley, C. (2007). Supply chain risk management and performance: A guiding framework for future development. *International Journal of Operations & Production*

*Management*, 27(3).

Samaniego, Á. (2010). Incertidumbre en los proyectos de investigación y desarrollo (I+D): Un estudio de la literatura. *Contaduría y Administración*.

Smarandache, F. (1995). *Neutrosophic logic and set*, mss.

Smarandache, F. (1999). *A unifying field in logics. neutrosophy: Neutrosophic probability, set and logic*. American Research Press, Rehoboth.

Smarandache, F. (2002). Neutrosophy, A New Branch of Philosophy. *Multiple Valued Logic*, 8(3), 297–384.

Smarandache, F. (2003). *A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability: Neutrosophic Logic: Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability*. Infinite Study.

Smarandache, F., & Leyva-Vasquez, M. (2018). Fundamentos de la lógica y los conjuntos neutrosóficos y supapel en la inteligencia artificial. *Neutrosophic Computing and Machine Learning*.

Smith, K., & Grimm, C. (1987). Environmental variation, strategic change and firm performance: A study of railroad deregulation. *Strategic Management Journal*, 8, 363–37.

Smith, P. (2019). Exploring public transport sustainability with neutrosophic logic. *TRANSPORTATION PLANNING AND TECHNOLOGY*, 42(3), 257–273. <https://doi.org/10.1080/03081060.2019.1576383>

Sodhi, M. S., Son, B.-G., & Tang, C. S. (2012). Researchers' Perspectives on Supply Chain Risk Management. *PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT*, 21(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2011.01251.x>

Sullivan, T. J. (2015). Introduction to Uncertainty Quantification. In *Texts in Applied Mathematics*. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-23395-6\\_1](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-23395-6_1)

Tang, C. S. (2006). Robust strategies for mitigating supply chain disruptions. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 9(1), 33–45. <https://doi.org/10.1080/13675560500405584>

Thun, J.-H., & Hoenig, D. (2011). An empirical analysis of supply chain risk management in

- the German automotive industry. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 242–249. <https://doi.org/10.1016/J.IJPE.2009.10.010>
- Trkman, P., Oliveira, M. P. V. de, & McCormack, K. (2016). Value-oriented supply chain risk management: you get what you expect. *Industrial Management & Data Systems*, 116(5), 1061–1083.
- Tummala, R., & Schoenherr, T. (2011). Assessing and managing risks using the supply chain risk management process (SCRMP). *Supply Chain Management: An International Journal*, 16(6), 474–483.
- Wang, H., Wang, C., Wang, Y., Gao, X., & Yu, C. (2017). Bayesian forecasting and uncertainty quantifying of stream flows using Metropolis–Hastings Markov Chain Monte Carlo algorithm. *Journal of Hydrology*, 549, 476–483. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2017.03.073>
- Yiyi, F. (2018). A review of supply chain risk management: definition, theory, and research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 48(3), 205–230. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2017-0043>
- Zadeh, L. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
- Zadeh, L. . (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 3–28. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(78\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5)
- Zuber, J., Cabral, B. J., McFadyen, I., Mauger, D. M., & Mathews, D. H. (2018). Analysis of RNA nearest neighbor parameters reveals interdependencies and quantifies the uncertainty in RNA secondary structure prediction. *RNA*, 24(11), 1568–1582. <https://doi.org/10.1261/rna.065102.117>