

Características del Método Delphi Difuso como Extensión del Enfoque Delphi

Characteristics of the Fuzzy Delphi Method as an Extension of the Delphi Approach

Fecha de recepción: marzo 2024

Fecha de aceptación: mayo 2024

Daniel Rodríguez-Salgado¹, Juan Oscar Ollivier- Fierro², Celia Viridiana Valenzuela Lozoya³

1. Instituto Tecnológico de Chihuahua (Dpto. de Económico Administrativo e Ingeniería Eléctrica y Electrónica) (México); correo: daniel.rs@chihuahua.tecnm.mx celular: 614 1515 160
2. Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Chihuahua (México); correo: jollivier@uach.mx celular: 6141892079
3. Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Chihuahua (México), correo: cvalenzuela@uach.mx celular: 6141287673

Correspondencia: Daniel Rodríguez-Salgado

Teléfono: 614 1515 160

Correo: daniel.rs@chihuahua.tecnm.mx

Resumen

Se examinan las particularidades del Método Delphi Difuso (FDM) como una extensión del enfoque Delphi (D), con el propósito de mejorar la capacidad para alcanzar consenso y reducir el tiempo necesario para las iteraciones. Este estudio se enfoca en analizar las características distintivas del FDM, especialmente en su aplicación dentro del contexto de los Métodos de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM), los cuales son herramientas diseñadas para evaluar múltiples alternativas dentro del proceso de toma de decisiones organizacionales. La originalidad de este estudio radica en su enfoque didáctica, dirigido principalmente a profesionales y estudiantes de las Ciencias Administrativas. Se pretende también hacer accesibles los conceptos de Lógica Difusa y Métodos de Toma de Decisiones, describiendo áreas específicas donde pueden ser implementados con éxito como en Recursos Humanos, Transferencia Tecnológica o Políticas Públicas. A través de un análisis comparativo, se evidencia como el FDM amplía las capacidades del enfoque Delphi al integrar la Lógica Difusa. Esto permite una evaluación más flexible y precisa de las opiniones de los expertos, especialmente en situaciones de gestión y administración.

Palabras Clave: Delphi Difuso, Delphi, Métodos de Decisión Multicriterio, Toma de Decisiones, Número Triangular Difuso.

Abstract

The particularities of the Fuzzy Delphi Method (FDM) are examined as an extension of the Delphi approach (D), aiming to enhance consensus-building capabilities and reduce the time required for iterations. This study focuses on analyzing the distinct features of the FDM, particularly in its applications within the context of Multicriteria Decision-Making Methods (MCDM), which are tools designed to evaluate multiple alternatives within the organizational decision-making process. The originality of this study lies in its didactic approach, primarily aimed at professionals and students in Administrative Sciences. It also aims to make the concepts of Fuzzy Logic and Decision-Making Methods accessible by describing specific areas where they can be successfully implemented such as in Human Resources, Technology Transfer or Public Policies. Through a comparative analysis, it is demonstrated how the FDM expands the capabilities of the Delphi approach by integrating Fuzzy Logic. This allows for a more flexible and precise evaluation of expert opinions, especially in management and administrative situations.

Keywords: Fuzzy Delphi, Delphi, Multi-Criteria Decision Making, Decision Making, Triangular Fuzzy Number

Objetivos de la investigación

General

Evaluar la efectividad del método Delphi Difuso (FDM) en comparación con el método Delphi tradicional

Específicos

- Determinar la precisión de las evaluaciones y el nivel de consenso entre los expertos utilizando el FDM en comparación con el método Delphi tradicional.
- Identificar la eficacia de integrar metodologías multicriterio (MCDM) con el FDM para jerarquizar, correlacionar y encontrar causalidad entre las variables en los cuestionarios

Justificación de la investigación

La creciente complejidad en la toma de decisiones en investigación y el ámbito empresarial ha impulsado la evolución de metodologías como el método Delphi Difuso (FDM). A diferencia del método Delphi tradicional, el FDM incorpora la lógica difusa, permitiendo abordar la incertidumbre y la ambigüedad inherentes en las opiniones de los expertos. Esta capacidad de tratar con mayor precisión la variabilidad en las respuestas es crucial en contextos donde la claridad y el consenso son fundamentales para la validez de los resultados.

Evaluar la efectividad del FDM en comparación con el método Delphi tradicional es necesario para comprender cómo estas mejoras impactan en la precisión de las evaluaciones y en el nivel de consenso alcanzado entre los expertos. Autores como Saffie et al. (2016) sugieren realizar comparativas entre ambos métodos, considerando la precisión, el consenso, la sensibilidad de los resultados, y los recursos necesarios para su implementación. Esto es vital para validar la aplicabilidad y eficiencia del FDM en diversas áreas de estudio.

Además, la integración de metodologías multicriterio (MCDM) con el FDM presenta una oportunidad para enriquecer los análisis. Métodos como el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), el Modelo Estructural Interpretativo (ISM) y la Técnica de Preferencia por Orden de Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS) permiten jerarquizar, correlacionar y encontrar causalidad entre variables, proporcionando una visión más holística y detallada de los problemas investigados.

La implementación de estas metodologías mejoradas no solo optimiza la toma de decisiones sino que también amplía su aplicabilidad en diversas disciplinas, incluyendo la planeación estratégica, la evaluación de proveedores y la selección de inversiones. La combinación de FDM con MCDM, por lo tanto, ofrece una robusta herramienta para la investigación y la práctica empresarial, justificando la necesidad de un análisis exhaustivo de su eficacia y aplicabilidad en comparación con los métodos tradicionales.

I. INTRODUCCIÓN

Las organizaciones constantemente se encuentran inmersas en una serie de problemáticas y retos que involucran la toma de decisiones para su solución, desde aquellas a nivel operativo, hasta aquellas sistémicas de tipo gerencial, que deciden el éxito o el fracaso de los objetivos organizacionales.

Podemos encontrar algunos ejemplos de toma de decisiones en la industria a través de proyectos de mejora continua (*Kaizen*) donde un equipo de trabajo aplicando una metodología específica es capaz de llegar a un consenso sobre la solución a un problema que afecta la productividad; en las finanzas, se ha demostrado una relación del uso de la información financiera y la toma de decisiones gerenciales; en la medicina cuando a través de grupos de colaboración multidisciplinarios se busca un diagnóstico y un tratamiento específico que sea acertado para mejorar la salud del paciente; en la agricultura, cuando se opta sobre qué tipo de tecnología será la más conveniente implementar para el monitoreo de

cultivos y así cumplir con la demanda esperada (Huacchillo et al., 2020; Mathenge et al., 2022).

Cualquiera que sea el grado de complejidad, una correcta toma de decisiones necesita de la mayor información posible de naturaleza cuantitativa y cualitativa como estadísticos, modelos y herramientas matemáticas, grupos de trabajo y experiencia de los colaboradores que permitan minimizar la incertidumbre al momento de lograr un consenso.

Uno de los métodos de apoyo para la toma de decisiones de carácter cualitativo más utilizados desde la década de los sesentas, es el Delphi (D), desarrollado por Dalkey y Helmer (1963) cuyo nombre hace alusión al antiguo oráculo griego Delfos que podría predecir el futuro y sus primeras aplicaciones se encontraban en la industria de la defensa estadounidense (López-Gómez, 2018).

El propósito principal del método, consiste en establecer a un panel de expertos, altamente calificados y especializados en una o varias áreas de estudio para abordar y resolver un problema específico. Los expertos aportan de acuerdo a su criterio, conocimientos sólidos para alcanzar un consenso informado y fundamentado sobre la elección de la mejor alternativa entre un conjunto de posibles opciones en el proceso de toma de decisiones dentro de las organizaciones.

Las características que distinguen al método son: el anonimato en las respuestas, múltiples iteraciones de preguntas, retroalimentación controlada de las respuestas a todos los miembros del equipo y la presentación e interpretación de los resultados para la elección de la alternativa.

El proceso inicia con una primera ronda, en donde se solicita la información de los expertos sobre la consulta de un tema en particular o las consecuencias que pudiera tener determinado fenómeno organizacional. La información es recopilada e interpretada en formato estadístico de forma general y después en particular. En una segunda ronda, se proporciona a cada experto la información resumida, obtenida de la primera ronda, para que pueda comparar las respuestas, en esta etapa es posible modificar su opinión inicial. Este proceso es iterativo hasta que

exista una convergencia en el consenso que defina la elección a la posible decisión a tomar (Belton et al., 2019; Barrios et al., 2021; Lei et al., 2023).

Sin embargo, el método presenta algunos inconvenientes en su aplicación, como la baja convergencia en el consenso de expertos, los altos costos de recursos de implementación y que la opinión de los expertos difícilmente puede verse traducida a valores meramente cuantitativos, lo que no lo convierte en la herramienta más precisa cuando se habla de la toma de decisiones multicriterio con alto grado de incertidumbre e impacto en las organizaciones.

Una extensión al Delphi tradicional que cubre tales inconvenientes, es el método Delphi Difuso (FDM) propuesto por Ishikawa et al. (1993), el cuál utiliza las técnicas de conjuntos difusos desarrolladas por Zadeh (1988) logrando enfrentar la complejidad y la ambigüedad de las respuestas, ofreciendo una alternativa para generar un consenso a partir del grado de pertenencia de la opinión de un experto a otro. La solidez del FDM, radica en que la opinión de los expertos es integrada, logrando un grado de consenso, reduciendo los tiempos de investigación y los costos en la toma de decisiones.

El FDM es una herramienta complementaria a los Métodos de Decisión Multicriterio (MCDM), los cuales se definen como un grupo de técnicas cuantitativas y cualitativas diseñadas para determinar la mejor alternativa considerando múltiples criterios en el proceso de selección. Han sido aplicados en áreas como las Finanzas, la Economía, la Investigación de Operaciones, procesos de sistemas de producción en las empresas y Sostenibilidad Corporativa. Surgen ante los desafíos actuales de quienes toman las decisiones que son: el evaluar un grupo de alternativas para identificar la que mayor rendimiento tenga, clasificarlas de la mejor a la peor, agruparlas en clases homogéneas y describir aquellas que cumplen con los criterios establecidos. Poseen un sentido holístico sobre los métodos tradicionales, que suelen reducir la toma de decisiones a una única alternativa basada principalmente en un solo criterio, como, por ejemplo: el costo. Sin embargo, en las organizaciones modernas, se deben considerar una variedad de nuevas ideas y posibles variantes en sus decisiones, es por ello el FDM tiene una versatilidad sobre el método Delphi

porque contribuye a la toma de decisiones con diversas alternativas (Zavadskas y Turskis, 2011; Chowdhury y Kumar, 2020; Taherdoost y Madanchian, 2023).

Es importante destacar que el FDM no tiene como objetivo desafiar los procedimientos estadísticos o basados en modelos, ya que se ha propuesto para aplicaciones relacionadas con situaciones de juicio y pronóstico que contengan grados de incertidumbre. Ejemplos concretos de toma de decisiones empleando FDM, se encuentran en: planificación de programas sociales; la creación de políticas públicas; la evaluación de necesidades; el gasto público; mecanismos de seguridad pública, Seguridad Vial, aplicación de tratamientos y diagnósticos en la Medicina, obtención factores de la Transferencia Tecnológica (TT), métodos de agricultura más efectivos, aspectos estratégicos gerenciales y la selección de mecanismos que favorecen el desarrollo sustentable. (Padilla-Rivera et al., 2021; Danaci y Yildirim, 2023).

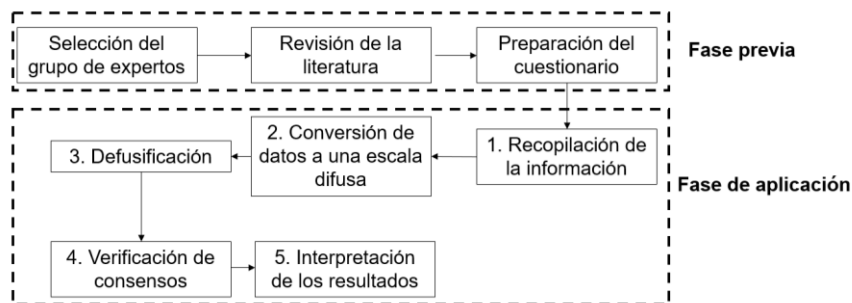
Conforme a lo expuesto anteriormente, se analizan las características del método Delphi Difuso (FDM), explicando también el procedimiento a seguir para su implementación a partir de dos fases: una fase previa que se encarga de conjuntar a un grupo de expertos y elaborar el cuestionario y una fase de aplicación que da lugar a la aplicación del FDM. Posteriormente, se contrastarán sus características e implicaciones con respecto al método Delphi tradicional, argumentando de forma precisa por qué el FDM se presenta como una herramienta alternativa adicional para la toma eficiente de decisiones en la que existe una incertidumbre alta en las organizaciones, buscando contribuir a la comprensión y difusión del método como una técnica valiosa que puede ser aplicado en las Ciencias Administrativas.

II. DESARROLLO

El método es presentado en dos secciones: la primer sección o fase previa, en la cual se integra el grupo de expertos y se prepara el cuestionario a partir de la selección de los elementos o ítems que serán evaluados por parte del mismo grupo de expertos. La segunda sección o fase de aplicación, consiste en la ejecución de cinco pasos que definen al método que son: 1) Recopilación de la información. 2)

Conversión de los datos a una escala difusa. 3) Defusificación o asignación de un peso numérico, 4) Verificación de consensos y la 5) Interpretación de los resultados.

Figura 1 Etapas para la toma de decisiones por Delphi Difuso (FDM)



Fuente: Elaboración propia adaptado de López y Proaño (2019), Danaci y Yildirim (2023)

Fase Previa

La fase previa consiste en determinar las condiciones sobre las cuales se desarrollará el FDM. Se selecciona al grupo de expertos y los ítems a incluir en el cuestionario, los cuales, el mismo grupo de expertos deberá contestar.

Un experto se considera a un individuo o a un grupo de personas capaces de ofrecer un criterio de valor acerca de una problemática dada (Baker et al., 2006).

La literatura sugiere que la conformación del grupo de expertos debe ser heterogénea ya que integra diferentes puntos de vista. En cuanto a la cantidad de personas que integran al grupo, Yusof et al. (2022), concluye que el número de expertos en un estudio Delphi no es necesario que sea grande, ya que no existe una relación fuerte entre el número de expertos y la calidad de los resultados que se pueden generar a partir de las discusiones grupales, basta con que la selección apropiada de ellos sea a través de sus capacidades, que exista involucramiento en la contestación del cuestionario y que no exista conflicto de intereses evitando sesgos.

La cantidad sugerida para el proceso va para un grupo desde diez hasta cincuenta personas, y es posible calcular del Coeficiente de Competencia Experta (K) como herramienta que evalúa el nivel de conocimiento y experiencia de los miembros del grupo tal cual se realiza en el método Delphi tradicional (Marín-González et al., 2021).

Como se comentó, además de la preparación del cuestionario que será respondido por el grupo, se recopilan una serie de elementos o ítems a evaluar. La cantidad de estos elementos puede variar dependiendo del tema de estudio, a veces la lista de ítems resulta ser abundante (más de diez), por lo que algunos autores optan por clasificarlos en grupos según características en común.

Por ejemplo, para la toma de decisiones en el ámbito de la Administración de la Innovación y la Tecnología, se pueden identificar como ítems que afectan el desarrollo de la Innovación Abierta a: la carga del trabajo, la presión del tiempo para brindar resultados y la falta de autonomía de las instituciones. De manera similar, en el sector educativo, donde se requiere encontrar las causas de la falta de adopción de herramientas digitales, se podrían tomar como ítems la falta de capacitación, la falta de una estrategia institucional de adopción a la tecnología o falta de presupuesto. Entonces, el grupo de expertos en la fase de aplicación se encargará de lograr un consenso sobre aquellos elementos considerados de mayor impacto, donde posteriormente se establecerá un plan de acción con objetivos especificados para lograr dar un tratamiento a lo detectado (Alnoor et al., 2021; Huang et al., 2022).

Fase de Aplicación

La finalidad de esta etapa es lograr un consenso sobre el o los ítems a seleccionar que influirán en la toma de decisiones del problema a estudiar. La fase de aplicación se lleva a cabo en cinco pasos que deben seguirse de forma metodológica para lograr tal objetivo.

Paso 1. Recolección de la información

El experto llena el cuestionario diseñado en la fase anterior, el cual contiene una serie de ítems. De acuerdo a su criterio, les asignará un grado de importancia

como lo establece la escala de Likert. La Tabla 1 muestra los valores numéricos en la escala de Likert, asignando un número 5 si se considera que el ítem es *muy importante*, un número 4 si considera que el ítem es *importante*, el número 3 si considera el ítem de transferencia como *neutral*, el número 2 como *poco importante* y el número 1 si considera al ítem sin *importancia*. A estas variables se les conoce como *Variables Lingüísticas* (Cheng, 2000).

Es importante observar que, para cada posible respuesta del experto, le corresponde un valor en otra escala, llamada Escala Difusa que se presenta con tres valores específicos; un valor bajo (*l*), un valor medio (*m*) y un valor alto (*u*) (Danaci y Yildirim, 2023).

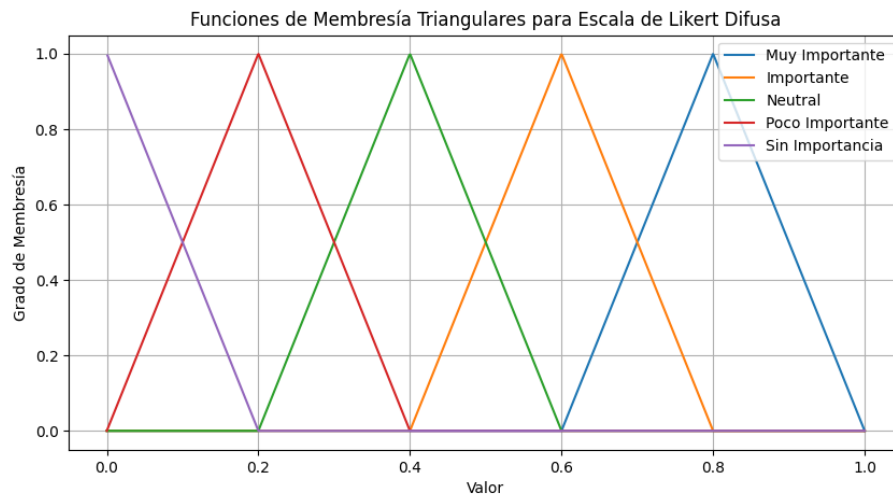
Es fundamental que el coordinador encargado de la recolección de los datos tenga una comprensión clara de los objetivos de estudio del método y de la relevancia de cada ítem en el contexto de la investigación, por lo que se recomienda estar presente cuando el experto llene el cuestionario para que se le brinde orientación sobre cómo realizar la evaluación de forma correcta según lo indica el método.

Tabla 1 Escala de Likert para cuestionario de Delphi Difuso

Ponderación de Likert	Escala Difusa		
	Bajo (<i>l</i>)	Medio (<i>m</i>)	Alto (<i>u</i>)
Muy importante (5)	0.6	0.8	1
Importante (4)	0.4	0.6	0.8
Neutral (3)	0.2	0.4	0.6
Poco importante (2)	0	0.2	0.4
Sin importancia (1)	0	0	0.2

Fuente: Adaptado de Danaci y Yildirim (2023)

Figura 2 Funciones de Membresía Triangulares para Escala de Likert



Fuente: Generado con Python 3.10, adaptado de Cheng (2000), Danaci y Yaldrim (2023)

Paso 2. Conversión de datos a una escala difusa

Esta etapa, se caracteriza por convertir los valores de las respuestas en escala de Likert en una escala difusa. Una escala difusa se define como un conjunto de valores, que se utilizan para medir juicios, percepciones o preferencias en situaciones en donde la información es ambigua, imprecisa o incierta. Se emplean frecuentemente en encuestas y cuestionarios en donde las respuestas no siempre se ajustan a categorías claras y definidas. Por ejemplo, en lugar de responder a una pregunta con opciones de “sí” o “no”, una escala difusa permite a los participantes expresar grado de acuerdo o desacuerdo, matizando una respuesta que se puede reducir en binaria (de Saa et al., 2015 ; Vonglao, 2017).

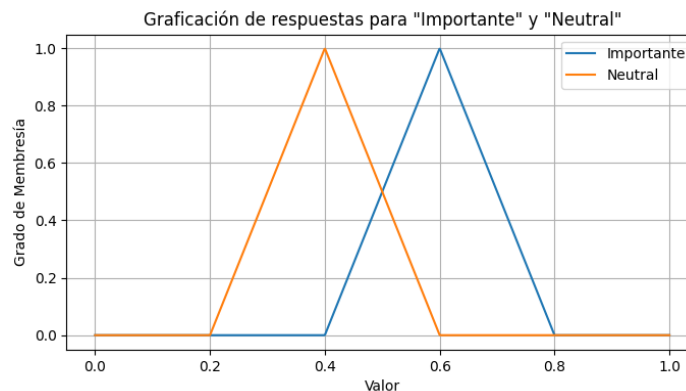
Proporciona una mayor flexibilidad, al asignar grados de pertenencia difusos a cada categoría, es decir, el experto expresa su grado de acuerdo y desacuerdo al momento de elegir una respuesta.

La escala de Likert Difusa que se grafica en la Figura 2 a partir de los datos de la Tabla 1, se contempla como una alternativa eficiente a la escala tradicional de Likert, que además se ha implementado de forma diversa en la literatura. Cabe señalar, que el análisis difuso no se limita al uso exclusivo de esta escala, ya que

puede ser diseñada a criterio del coordinador del FDM siempre y cuando se encuentre familiarizado con las herramientas de conjuntos difusos (Li, 2013; Vonglao, 2017; Castaño et al., 2020).

Para ampliar la definición sobre la escala de Likert Difusa, supóngase que se evaluará un ítem o elemento, para verificar el grado de pertenencia o membresía existente. Inicialmente, se emplea la ponderación dada en la Tabla 1. El experto No. 1 evalúa como “*importante*” el ítem, entonces su valor en escala difusa correspondiente es de $\tilde{m}_1 = (0.4, 0.6, 0.8)$. Para el mismo ítem a evaluar, el experto No. 2, lo evalúa como “*neutro*” cuyo valor es $\tilde{m}_2 = (0.2, 0.4, 0.6)$. Entonces, la representación gráfica para ambas evaluaciones se observa en la Figura 3, donde el área de intersección representa el porcentaje de pertenencia a calcular. Se distingue en la gráfica de la Figura 3, que el comportamiento de las respuestas y las evaluaciones presentan una forma triangular, a esto se le conoce como *Número Triangular Difuso* o *Escala Triangular Difusa* (TFN) (Cheng, 2000; Yusoff et al., 2021).

Figura 3 Graficación de respuestas para “*importante*” y “*neutral*”



Fuente: Generado con Python 3.10, adaptado de López y Proaño (2019)

Paso 3. Defusificación o asignación de peso numérico

Si el grupo de expertos estuviera compuesto por cinco personas que evalúan un ítem, se generarían cinco conjuntos de Números Triangulares Difusos (TFN) durante el análisis. Por consiguiente, se plantea la necesidad de sintetizar estos cinco conjuntos en un único TFN, que represente la totalidad de la información

proporcionada por el grupo de expertos. Este TFN se constituye con un valor mínimo (L), calculado como el más bajo de los cinco conjuntos, un valor medio (M) obtenido mediante la media geométrica de los cinco conjuntos y un valor máximo (U) que se calcula como el más alto de los cinco conjuntos. La Tabla 2 muestra un ejemplo del cálculo del TFN único que representa la evaluación de los cinco expertos para verificar consensos de un solo ítem.

Tabla 2 Evaluación de un ítem por medio de la escala difusa

	Escala de Likert	Escala Difusa		
Experto 1	5	0.6	0.8	1
Experto 2	5	0.6	0.8	1
Experto 3	3	0.2	0.4	0.6
Experto 4	4	0.4	0.6	0.8
Experto 5	3	0.2	0.4	0.6
TFN Ponderado		0.2	0.57	1
		L	M	U

Fuente: Elaboración propia adaptado de Danaci y Yildirim (2023)

Después de la obtención de un único TFN ponderado, se asigna un valor numérico o peso numérico (x). En el terreno de los Conjuntos Difusos se le conoce como *Crisp Value*, el cual se calcula como el promedio de los valores de L , M y U . Para el caso del ejemplo anterior, el *Crisp Value* (x) es de 0.59, este valor será de utilidad para el paso cuatro del FDM (Hashemi et al., 2022)

$$x = \frac{L + M + U}{3} = \frac{0.2 + 0.57 + 1}{3} = 0.59 \quad (1)$$

Utilizando el procedimiento establecido por Cheng (2000) y empleando las ecuaciones 1-5 mostradas a continuación, se calcula la distancia numérica del valor hacia el conjunto correspondiente, evaluando los valores de L, M, U :

$$\text{Si } x \leq L, \text{ entonces el grado de pertenencia es } \mu(x) = 0 \quad (2)$$

$$\text{Si } L \leq x \leq M, \text{ entonces el grado de pertenencia es } \mu(x) = \frac{x-L}{M-L} \quad (3)$$

$$\text{Si } M \leq x \leq U, \text{ entonces el grado de pertenencia es } \mu(x) = \frac{U-x}{U-M} \quad (4)$$

$$\text{Si } x > U, \text{ entonces el grado de pertenencia es } \mu(x) = 0 \quad (5)$$

Sustituyendo el *Crisp Value* de $x=0.59$ en las ecuaciones 1 a 5 de pertenencia, los resultados revelan que este valor pertenece al conjunto de *importante* ya que ($l = 0.4, m = 0.6, u = 0.8$) con una pertenencia del $\mu(x) = 95\%$ mientras que también pertenece al conjunto de *neutral* ($l = 0.2, m = 0.4, u = 0.6$) con un $\mu(x) = 5\%$ de membresía.

Paso 4. Verificación de consensos

El procedimiento anterior se repite para cada uno de los ítems disponibles, con el propósito de calcular los *Crisp Values* o pesos numéricos (x) de todos ellos. Posteriormente, se procede a discriminar de la lista de ítems a aquellos que no lograron un consenso, esto se logra a partir de un valor de umbral o *Threshold* (α). Este valor de umbral puede ser calculado por cuatro aproximaciones según lo indicado por Hashemi (2020) . Para el análisis relacionado con toma de decisiones, se recomienda tomar en cuenta el cálculo del primer cuartil del listado de los *Crisp Values* de los ítems como valor de umbral α , esto debido a que representa el punto en el que el 25% de las opiniones están por los extremos y el 75% por dentro de una Distribución Normal. Otro criterio de umbral puede ser la Regla 80/20 de Pareto.

Entonces todos los ítems cuyo *Crisp Value* se encuentre por debajo del umbral no son considerados como parte del consenso. La expresión que representa lo anterior es la siguiente:

Si $x \geq \alpha$ el ítem forma parte del consenso

Si $x < \alpha$ el ítem no forma parte del consenso

Tabla 3 Evaluación de consenso de ítems por FDM

Elemento evaluado	Crisp Value (x)	Consenso
ítem 1	0.59	Si
ítem 2	0.61	Si
ítem 3	0.57	Si
ítem 4	0.5	No
ítem 5	0.6	Si
ítem 6	0.58	Si
ítem 7	0.57	Si
ítem 8	0.53	No
ítem 9	0.62	Si
ítem 10	0.61	Si
<i>Valor de umbral (α)</i>	<i>0.57</i>	

Fuente: Elaboración propia adaptado de Danaci y Yaldrim (2023)

Para ejemplificar este punto, tómesese como referencia la Tabla 3, que contiene los pesos de diez ítems evaluados por el grupo de expertos, se puede observar que solamente forman parte del consenso ocho de ellos al superar el valor de umbral del primer cuartil, los dos restantes no se consideran parte del mismo.

Paso 5 Interpretación de los resultados

Una vez obtenidos los ítems considerados dentro del consenso, el equipo de trabajo discute acerca de las posibles alternativas, considerando incluso la ejecución de nuevas rondas que garanticen la confiabilidad del resultado, también se somete el procedimiento a Análisis de Sensibilidad en donde se toman en cuenta diferentes valores de umbral para observar el comportamiento de las evaluaciones. Es posible encontrar en la literatura que el FDM va acompañado de otros métodos Multicriterio como el Modelo Estructural Interpretativo, Proceso Analítico Jerárquico (AHP) o TOPSIS los cuales robustecen el análisis para encontrar causa- efecto entre los ítems analizados (Hsu et al., 2010; Wang et al., 2014; Hsu et al., 2015).

Se considera esta etapa una parte importante debido a que se establecen planes de acción para la mejora de la organización.

III. CONCLUSIONES

El método Delphi Difuso (FDM), surge como una evolución del método Delphi tradicional (D), incorporando la lógica difusa para tratar la incertidumbre y la ambigüedad en las opiniones de los expertos. No obstante, el FDM presenta algunas implicaciones, desafíos que vale la pena comentarse para su implementación.

Implicaciones y Desafíos de la ejecución del FDM

Si bien el FDM representa una reducción en las iteraciones necesarias para alcanzar el consenso, esto pudiera generar un problema de definición debido a que una característica fundamental del método Delphi es que debe de presentarse en múltiples iteraciones o rondas.

Autores como Saffie et al. (2016), recomiendan al momento de aplicar el método en trabajos de investigación, realizar una comparativa entre los resultados obtenidos por FDM y el método Delphi tradicional considerando criterios como la precisión de las evaluaciones, el nivel o porcentaje de consenso entre los expertos, la sensibilidad de los resultados a los cambios de parámetros del modelo, el tiempo y recursos necesarios para la implementación de ambos métodos.

Del grupo de expertos

Respecto a la integración del grupo de expertos, el Coeficiente de Competencia Experta (K) continúa siendo una herramienta de evaluación confiable, pero aún contiene elementos subjetivos en su cálculo. Se recomienda considerar el análisis con pruebas estadísticas como Análisis de Componentes Principales (PCA) para identificar a los factores más importantes que influyen en la competencia de los expertos, el Análisis Factorial, para la elección de expertos que representen una diversidad de perspectivas, Análisis de Conglomerados para la selección de expertos con características en común o la Regresión Lineal que prediga la competencia de un experto a partir de un conjunto de variables.

Puede añadirse una primera ronda piloto para que el grupo de expertos valide los ítems que serán integrados al cuestionario, esto evitaría que una gran cantidad de ellos se tengan a evaluar e incluso se encuentren repetidos.

De las escalas difusas

La escala de Likert Difusa emplea números triangulares debido a su flexibilidad para lograr un consenso y también porque es la que mayor semejanza se encuentra con la escala tradicional, pero no se limita a uso exclusivo. También se pueden emplear otras escalas como las de forma trapezoidal, sigmoidea o gaussiana. Incluso, es posible diseñar escalas específicas adaptadas a las características del tipo de toma de decisiones, aunque este diseño no se aborda en este escrito.

El mayor impacto en los resultados que tiene el uso de la escala difusa de Likert sobre la escala tradicional es que se permite determinar el grado de acuerdo o desacuerdo de una respuesta, sin embargo, el instrumento aún queda sujeto a comprobar su confiabilidad aplicando pruebas como el coeficiente de Kendall o el coeficiente Alfa de Cronbach. Se recomienda de forma adicional diseñar una escala distinta a la de Likert con el fin de comparar las inferencias obtenidas.

Otros de los desafíos a destacar en relación con el uso de cuestionarios basados en escalas difusas son los siguientes: 1) su contestación requiere una asesoría por parte del instructor, por lo que el proceso de adquisición de datos pudiera ser más tardado que aplicando un cuestionario tradicional en escala de Likert; 2) El coordinador debe de definir cómo se debe de calcular las distancias que indican el grado de cercanía o de separación entre existente entre la opinión de los expertos.

Mejoras al FDM a través de metodologías multicriterio MCDM

Se recomienda, complementar el FDM con otros métodos multicriterio en aras de jerarquizar, correlacionar y encontrar causalidad entre las variables integradas en los cuestionarios a continuación se definen los más representativos:

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) que permite asignar un peso numérico a las variables consensuadas para determinar su importancia relativa (Liu et al. 2020). El Modelo Estructural Interpretativo (ISM) se define como un modelo gráfico que modela las interrelaciones entre los componentes de un sistema (Armini y Alimohammadlou, 2021).

La Técnica de Preferencia por Orden de Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS) se considera como una técnica multicriterio, la cual junto con AHP son las que más se utilizan en combinación con FDM. Busca determinar tanto la solución ideal como la no ideal, calculando la distancia más corta de las posibles alternativas a ambas soluciones (Çelikbilek y Tüysüz, 2020). No obstante, el análisis no se limita a estas herramientas, ya que se pueden aplicar otros criterios estadísticos o MCDM que complementen al FDM según el criterio del investigador y del rigor matemático que requiera la aplicación.

Algunas de las aplicaciones de los MCDM en áreas administrativas y de negocios se encuentran el uso de AHP para la planeación estratégica para priorizar los objetivos y las alternativas de solución, el método TOPSIS ha sido implementado en priorizar los proveedores potenciales en función de diferentes criterios que tiene la organización. Por su parte, el método ELECTRE ha sido eficientemente aplicado para la evaluación de alternativas de inversión considerando los factores financieros y no financieros. En la manufactura de productos, combinaciones de los tres métodos anteriores han servido para evaluar la mejor alternativa de diseño basado como criterios los costos, el rendimiento y la confiabilidad. Otras aplicaciones de los MCDM se pueden encontrar en la jerarquización de programas sociales (Sahoo & Goswami, 2023). A continuación, se muestra en la Tabla 4 algunos métodos MCDM con los que se puede combinar el FDM.

Tabla 4 Comparativa de los Métodos Multicriterio

Método MCDM	Objetivo	Principal fortaleza	Principal Debilidad
Proceso Analítico Jerárquico (AHP)	Jerarquiza las posibles alternativas asignando un peso numérico sobre cada una de ellas	Genera un gráfico que visualiza claramente la jerarquía de las decisiones	Contiene elementos subjetivos que cambian los resultados
Programación por metas	Establece objetivos específicos medibles y desarrolla estrategias para alcanzarlos minimizando recursos	Maneja una gran cantidad de variables y objetivos	Las soluciones no necesariamente son las más eficientes
ELECTRE	Selecciona la mejor opción con la máxima ventaja y el menor conflicto en función de varios criterios	Alta capacidad para integrar la subjetividad de las opiniones	Su aplicación consume demasiado tiempo
TOPSIS	Compara alternativas en función de su distancia a las soluciones ideales tanto positivas como negativas	Permite a los tomadores de decisiones identificar la alternativa rápidamente	Sensibilidad a la elección de los pesos de los criterios y a la normalización de los resultados
Análisis Envoltante de Datos (DEA)	Encuentra las unidades que logran el mejor rendimiento en términos de producir más resultados con la menor cantidad de recursos	Se procesan múltiples entradas y salidas simultáneamente	No es posible aplicar pruebas estadísticas para comprobar confiabilidad
Modelo Estructural Interpretativo (ISM)	Diagrama la relación entre los diferentes elementos de un problema complejo	Descompone un problema complejo en partes sistemáticas para su análisis	Depende del juicio de expertos para encontrar relación entre las variables
MICMAC	Gráfico que clasifica alternativas según su capacidad para influir otras alternativas	Permite identificar opciones que tienen mayor impacto en un problema	Requiere una cantidad considerable de datos

Fuente: Elaboración propia adaptado de Aruldoss et al. (2013), Taherdoost & Madanchian (2023), Sorooshian et al. (2023) y Chowdhury y Kumar (2020)

Comparativa Delphi y Delphi Difuso

El FDM ofrece varias ventajas clave sobre el método Delphi, especialmente en el contexto de la toma de decisiones complejas. Una de las principales fortalezas del FDM es su capacidad para integrar la incertidumbre mediante porcentajes de pertenencia, lo que permite a los expertos, expresar niveles de acuerdo y desacuerdo de forma más matizada. Esto reduce la cantidad de iteraciones necesarias para alcanzar un consenso, ya que el consenso se refleja en el aumento de los grados de pertenencia hacia una opción en particular.

A diferencia del método tradicional, que utiliza un enfoque más rígido y presiona a los participantes hacia una convergencia de opiniones, el FDM facilita la identificación de áreas donde el consenso es débil y promueve discusiones más diversas.

En términos de precisión de los resultados, el FDM puede producir un análisis más representativo al identificar variaciones sutiles en las percepciones de los expertos. Por el contrario, en el método Delphi depende de gran medida de la capacidad de los expertos para seleccionar dentro de opciones predefinidas, lo que puede simplificar en exceso las respuestas a problemas complejos.

A pesar de estas ventajas, es conveniente mencionar que el FDM puede ser complejo de implementar especialmente para los participantes que no están familiarizados con la terminología difusa. En cambio, Delphi, al ser ampliamente estudiado y estandarizado, es generalmente sencillo y directo, lo que lo hace adecuado para contextos donde se requiere un consenso claro y definitivo como en la planificación estratégica, la evaluación de proyectos y procesos de certificación.

Por otro lado, FDM es valioso en escenarios en donde las decisiones involucran un alto grado de subjetividad, como la evaluación de tecnologías emergentes, o políticas públicas (Batista et al., 2019). Su flexibilidad permite una exploración más profunda de las opciones, aunque esto también puede incrementar el riesgo de errores en los cálculos. La Tabla 5 resume las principales diferencias de ambos métodos destacando su adaptabilidad para diferentes contextos.

Tabla 5 Comparativa del método Delphi (D) y Delphi Difuso (FDM)

Característica	Delphi (D)	Delphi Difuso (FDM)
Objetivo	Obtener consenso entre un grupo de expertos sobre un tema complejo	Obtener consenso entre un grupo cuando las alternativas son de alto impacto, se considera la incertidumbre
Método	Estimación de pronósticos basada en información principalmente cualitativa	Toma de Decisiones Multicriterio que emplea Lógica Difusa para manejar la incertidumbre
Escalas de evaluación	Se utilizan escalas tradicionales como Likert	Utiliza escalas difusas que pueden ser triangulares, trapezoidales o gaussianas.
Manejo de incertidumbre	Se basa en el consenso de opiniones y las desviaciones que pudieran tener	Se expresa un porcentaje de consenso. Una opinión puede pertenecer a varios conjuntos de opiniones
Consenso e Iteraciones	Requiere múltiples rondas para lograr el consenso. Se tiene consenso cuando el grupo logra un acuerdo mayoritario >75%	Requiere de menos rondas de participación al aplicar un valor de umbral lógico de consenso. El consenso se define como un grado de acuerdo entre los expertos
Tiempo y recursos	Requiere tiempo y recursos para la organización de las rondas de cuestionarios.	Requiere de menos tiempo y recursos debido a su disminución de rondas.
Precisión	Depende de la calidad del cuestionario, la selección de expertos y las iteraciones	Al considerar el manejo de incertidumbre, mejora la precisión que Delphi tradicional
Principal Ventaja	Flexibilidad y capacidad para realizar pronósticos	Mayor precisión de resultados
Principal Desventaja	Puede ser afectado por sesgos individuales o grupales	Comprensión de fundamentos de Lógica Difusa

Fuente: Elaboración propia adaptado de Saffie et al. (2016) y Yusof et al. (2022)

Discusión

En función de lo referenciado a los autores anteriores, el FDM extiende la perspectiva en que analizan los problemas que abarcan las Ciencias de la Administración y los Negocios, abriendo la puerta a estudios mixtos que propicien el contraste con los métodos estadísticos, principalmente en la toma de decisiones estratégicas en empresas ya que puede ser implementado para evaluar estrategias de mercado en un ambiente económico incierto, en la gestión de riesgos donde es crucial entender y prepararse para variaciones en factores clave que podrían afectar negativamente la organización. En la investigación de mercados, puede ser utilizado en trabajos futuros para la obtención de consensos sobre las tendencias de consumo, preferencias del cliente y potenciales de nuevos productos. En el ámbito de las Tecnologías de la Información, el método puede integrarse con herramientas de análisis de datos y Software Libre para predecir cambios en el comportamiento del consumidor. En el tema de Transferencia Tecnológica, es un área con potencial, permitiendo identificar los factores críticos que propicien mejores alianzas entre las universidades y las empresas para creación de productos innovadores, o bien, en la Gestión de Recursos Humanos para prever necesidades de capacitación y desarrollo de talento.

La flexibilidad del método permite que los expertos expresen sus opiniones en términos de grados de certeza, ofrece una visión más completa del problema, guiando a mejores resultados logrando una mejor eficiencia de las organizaciones evitando la pérdida de sus recursos.

En conclusión, el Delphi Difuso se muestra como una herramienta versátil en la toma de decisiones que puede ser aplicado en situaciones donde las alternativas son difíciles de discernir claramente o donde la certeza es limitada.

A pesar de que las técnicas de Lógica Difusa aún no se encuentran ampliamente implementadas en las Ciencias Administrativas y Sociales, representan un área de oportunidad para futuras investigaciones, invitando a la exploración de estudios multidisciplinarios enriqueciendo la solución a problemas complejos.

REFERENCIAS

Alnoor, A., Abdullah, H., AL-Abrow, H., Khaw, K., Al-Awidi, I., Abbas, S., & Omrane, A. (2021). A Fuzzy Delphi analytic job demands-resources model to rank factors influencing open innovation. *Transnational Corporation Review*, 14(2), 178-192. <https://doi.org/10.1080/19186444.2021.1956854>

Armini, A., & Alimohammadlou, M. (2021). Toward equation structural modeling: an integration of interpretive structural modeling and structural equation modeling. *Journal of Management Analytics*, 8(4), 693-714. <https://doi.org/10.1080/23270012.2021.1881927>

Aruldoss, M., Lakshmi, M., & Venkatesan, P. (2013). A Survey on Multi Criteria Decision Making Methods and its Applications. *American Journal of Information Systems*, 1(1), 31-43. <https://doi.org/10.12691/ajis-1-1-5>

Baker, J., Lovell, K., & Harris, N. (2006). How expert are the experts? An exploration of the concept of 'expert' within Delphi panel techniques. *Nurse Researcher*, 14(1), 59-70. <https://doi.org/10.7748/nr2006.10.14.1.59.c6010>

Barrios, M., Guilera, G., Nuño, L., & Gómez-Benito, J. (2021). Consensus in the delphi method: What makes a decision change? *Technological Forecasting and Social Change*, 163(120484), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120484>

Batista, N., Ruilova, M., Mazacón, B., de Mora, K., Alipio, J., Palma, V., & Escobar, J. (2019). Prospective analysis of public management scenarios modeled by the Fuzzy Delphi method. *Neutrosophic Sets and Systems*, 26(1), 114-119.

Belton, I., MacDonald, A., Wright, G., & Hamlin, I. (2019). Improving the practical application of the Delphi method in group-based judgment: A six-step prescription for a well-founded and defensible process. *Technological Forecasting & Social Change*, 147, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.07.002>

Castaño, A., Lubiano, A., & García-Izquierdo, A. (2020). Gendered Beliefs in STEM Undergraduates:A Comparative Analysis of Fuzzy Rating versus Likert Scales. *Sustainability*, 12(15), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12156227>

Çelikbilek, Y., & Tüysüz, F. (2020). An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An experimental analysis. *Journal of Management Analytics*, 7(2), 281-300. <https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528>

Cheng, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets of Systems*, 114(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/S0165-0114>

Chowdhury, P., & Kumar, S. (2020). Applications of MCDM methods in research on corporate sustainability: A systematic literature review. *Management of Environmental Quality*, 31(2), 385-405. <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2019-0284>

Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Management Science*, 9(3), 458-467. <https://doi.org/http://www.jstor.org/stable/2627117>

Danaci, M., & Yildirim, U. (2023). Comprehensive analysis of lifeboat accidents using the Fuzzy Delphi Method. *Ocean Engineering*, 278(114371), sp. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114371>

De Saa, S., Gil, M., González-Rodríguez, G., & López, T. (2015). Fuzzy Rating Scale-Based Questionnaires and Their Statistical Analysis. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 23(1), 111-126. <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2014.2307895>

Hashemi, S., Ghomi, H., & Mazaheriasad, M. (2022). An Integrated Fuzzy Delphi and Best Worst Method (BWM) for performance measurement in higher education. *Decision Analytics Journal*, 4(100121). <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2022.100121>

Hashemi, S., Tavana, M., & Abdi, M. (2020). A comprehensive framework for analyzing challenges in humanitarian supply chain

management: A case study of the Iranian Red Crescent Society. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42(101340).
<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101340>

Hsu, D., Shen, Y.-C., Yuan, B., & James Chou, C. (2015). Toward successful commercialization of university technology: Performance drivers of university technology transfer in Taiwan. *Technological Forecasting & Social Change*, 25-39.

Hsu, Y.-L., Lee, C.-H., & Kreng, V. (2010). The application of Fuzzy Delphi Method and Fuzzy AHP in lubricant regenerative technology selection. *Expert Systems with Applications*, 37, 419-425.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.05.068>

Huacchillo, L., Ramos, E., & Pulache, J. (2020). La gestión financiera y su incidencia en la toma de decisiones financieras. *Universidad y Sociedad*, 12(2), 356-362.

Huang, T.-Y., Chen, W.-K., Nallauri, V., & Huynh-Cam , T.-T. (2022). Evaluating E-Teaching Adoption Criteria for Indian Educational Organizations Using Fuzzy Delphi-TOPSIS Approach. *Mathematics*, 10(2175), 1-18.
<https://doi.org/10.3390/math10132175>

Ishikawa, A., Amagasa, M., Shiga, T., Tomizawa, G., Tatsuta, R., & Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets and Systems*, 55(3), 241-253.
[https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90251-C](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90251-C).

Lei, B., Janssen, P., Stoter, J., & Biljecki, F. (2023). Challenges of urban digital twins: A systematic review and a Delphi expert survey. *Automation in Construction*, 147(104716), 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104716>.

Li, Q. (2013). A novel Likert scale based on fuzzy sets theory. *Expert Systems with Applications*, 40(5), 1609-1618.

Liu, Y., Eckert, C., & Earl, C. (2020). A review of fuzzy AHP methods for decision-making with subjective judgements. *Expert Systems with Applications*, 161(113738). <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113738>

López, B., & Proaño, G. (2019). *Desarrollo de un sistema WEB para la realización de Estudios Delphi y AHP Difusos*. Escuela Politécnica Nacional de Quito.

López-Gómez, E. (2018). El método Delphi en la investigación actual en educación: una revisión teórica y metodológica. *Educación XX1*, 21(1), 17-40. <https://doi.org/10.5944/educXX1.15536>

Marín-González, F., Pérez-González, J., Senior-Naveda, A., & García-Guliany, J. (2021). Validación del diseño de una red de cooperación científicotecnológica utilizando el coeficiente K para la selección de. *Información Tecnológica*, 32(2), 79-88. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200079>

Mathenge, M., Sonneveld, B., & Broerse, J. (2022). Application of GIS in agriculture in promoting evidence-Informed decision making for improving agriculture. *Sustainability*, 14(16), 9974. <https://doi.org/10.3390/su14169974>

Padilla-Rivera, A., Barros, B., & Arcese, G. (2021). Social circular economy indicators: Slection through fuzzy delphi method. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 101-110. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.015>.

Python Software Foundation. (2024). Python Language Reference.

Saffie, A., Shukor, N., & Rasmani, K. (2016). Fuzzy delphi method: Issues and challenges., (págs. 1-7). Sydney. <https://doi.org/10.1109/LISS.2016.7854490>

Sahoo, S., & Goswami, S. (2023). A Comprehensive Review of Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) Methods: Advancements, Applications, and Future Directions. *Decision Making Advances*, 1(1), 25-48. <https://doi.org/10.1145/3575810>

Sorooshian, S., Tavana, M., & Ribeiro-Navarrete, S. (2023). From Classical Interpretive Structural Modeling to Total Interpretive Structural Modeling and Beyond: A Half-Century of Business Research. *Journal of Business Research*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113642>

Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts. *Encyclopedia*, 3(1), 77-87. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006>

Vonglao, P. (2017). Application of fuzzy logic to improve the Likert scale to measure latent variables. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 38(3), 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2017.01.002>

Wang, Y., Yeo, G.-T., & Ng, A. (2014). Choosing optimal bunkering ports for liner shipping companies: A hybrid Fuzzy-Delphi–TOPSIS approach. *Transport Policy*, 35, 358-365. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.04.009>

Yusof, N., Hashim, N., & Hussain, A. (2022). A Review of Fuzzy Delphi Method Application in HumanComputer Interaction Studies. *AIP Conference Proceedings*, 2472(1), 1-7. <https://doi.org/10.1063/5.0094417>

Yusoff, K., Ashaari, N., Wook, T., & Ali, N. (2021). Validation of the Components and Elements of Computational Thinking for Teaching and Learning Programming using the Fuzzy Delphi Method . *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(1), 80-88.

Zadeh, L. (1988). Fuzzy Logic. *Computer*, 21(4), 83-93. <https://doi.org/10.1109/2.53>

Zavadskas, E., & Turskis, Z. (2011). Multiple Criteria Decision Making (MCDM) Methods in Economics: An Overview. *Techological and Economic Development of Economy*, 17(2), 397-427. <https://doi.org/10.3846/20294913.2011.593291>