

Propuesta de evaluación de la madurez logística de Micro, Pequeñas y Medianas Empresas basado en lógica difusa

Evaluation proposal of the logistic maturity of Micro, Small and Medium Enterprises based on fuzzy logic

DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.18.1.2022.14>

Artículo de Investigación Científica. Fecha de Recepción: 03/11/2020, Fecha de Aceptación: 15/10/2021

Mateo Márquez Gutiérrez 

Universidad EAFIT. (Colombia)

mmarque8@eafit.edu.co

Guillermo Leon Carmona González 

Universidad EAFIT. (Colombia)

gcarmona@eafit.edu.co

Carlos Alberto Castro Zuluaga 

Universidad EAFIT. (Colombia)

ecastro@eafit.edu.co

Para citar este artículo:

M. Márquez Gutiérrez, G. Leon Carmona, C. Castro Zuluaga “Propuesta de evaluación de la madurez logística de Micro, Pequeñas y Medianas Empresas basado en lógica difusa”. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.18.1.2022.14>

Resumen

Introducción: El manejo eficiente de la logística empresarial es un factor determinante en la globalización y modernización de las empresas, en especial para aquellas clasificadas como micro, pequeñas y medianas empresas (Mipymes). Un primer paso en este sentido evaluar el estado actual de la madurez de los procesos logísticos. Actualmente existen diversos modelos que permiten evaluar la madurez de los procesos, sin embargo, no están orientados a los procesos logísticos, y su forma de evaluar las dimensiones del modelo, pueden presentar incertidumbres o ambigüedades.

Objetivo: Proponer una metodología para evaluar la madurez de los procesos logísticos en Mipymes, mediante un sistema de inferencia difusa que apoye el proceso de toma de decisiones.

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

Metodología: La metodología de investigación es de tipo cuantitativo-explicativo y el método es de carácter empírico-descriptivo [1], en donde a partir de entrevistas personales realizadas con expertos de diferentes áreas de la logística, se definen las reglas base del sistema de inferencia difusa (FIS) que alimentan el modelo propuesto para evaluar el nivel de madurez de micro y pequeñas empresas en dos dimensiones de la gestión logística. Finalmente se realiza una prueba piloto para evaluar la efectividad y aplicabilidad del modelo.

Resultados: Se propone un modelo de madurez empírico para la evaluación de los procesos logísticos en Mipymes. Este incluye un sistema de inferencia difusa (FIS) para la evaluación de las dimensiones del modelo propuesto, basado en el criterio de tomadores de decisiones expertos. El modelo cuenta con una matriz para clasificar el desempeño logístico de la empresa según el resultado obtenido por el FIS. Para evaluar el desempeño del modelo se realiza una prueba piloto realizada a un grupo de tres Mipymes manufactureras.

Conclusiones: El modelo de madurez soportado en la lógica difusa permitió soportar la incertidumbre y la ambigüedad dada por la calificación de la madurez de los procesos de la empresa. El sistema de inferencia difusa toma la ambigüedad, y con ayuda de las reglas del sistema de inferencia planteadas, brinda una evaluación objetiva y ágil de las dimensiones propuestas por el modelo de madurez. Finalmente, la metodología desarrollada permite llevar la experiencia de expertos al alcance de Mipymes.

Palabras clave

Evaluación; Gestión industrial; Lógica matemática; Modelo matemático; Pequeña empresa

Abstract

Introduction: The efficient management of business logistics is a determining factor in the globalization and modernization of companies, especially for those classified as micro, small and medium-sized enterprises (MSMEs). A first step in this regard to assess the current state of maturity of logistics processes. Currently there are various models that allow evaluating the maturity of the processes, however, they are not oriented to logistics processes, and their way of evaluating the dimensions of the model may be to present uncertainties or ambiguities.

Objective: To propose a methodology to evaluate the maturity of logistics processes in MSMEs, through a fuzzy inference system that supports the decision-making process.

Methodology: The research methodology is quantitative-explanatory and the method is empirical-descriptive, where, based on personal interviews with experts from different areas of logistics, the basic rules of the fuzzy inference system (FIS) are defined that feed the proposed model to evaluate the level of maturity of micro and small companies in two dimensions of logistics management. Finally, a pilot test is carried out to evaluate the effectiveness and applicability of the model.

Results: An empirical maturity model is proposed for the evaluation of the logistics processes of MSMEs. This model includes a fuzzy inference system (FIS) for evaluating the dimensions of the proposed model, based on the criteria of expert decision makers. The model has a matrix to classify the logistics performance of the company according to the result obtained by the FIS. To evaluate the performance of the model, a pilot test was carried out on a group of three manufacturing MSMEs.

Conclusions: The maturity model supported by the fuzzy logic allowed to support the uncertainty and ambiguity given by the qualification of the maturity of the company's processes. The fuzzy inference system took the ambiguity, and with the help of the rules of the inference system raised, it offered an objective and agile evaluation of the dimensions proposed by the maturity model. Finally, the methodology developed allows to bring the experience of experts to the reach of MSMEs.

Key Words

Evaluation; Industrial Management; Mathematical logic; Mathematical models; Small enterprises

I. INTRODUCCION

La logística es considerada como un área de alto impacto en el desempeño global de todo tipo de organizaciones, por lo que una gestión eficiente de la logística empresarial afectará positivamente el desempeño de cualquier organización [2], [3]

El área logística es de particular interés de estudio al ser una de las fuentes más significativas en términos de generación de costos respecto a otras áreas en la empresa. En Colombia, la logística puede llegar a representar

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

más del 20% del total de los costos en los que incurren las empresas [4]. La logística representa un factor importante de apalancamiento para la empresa, por lo que una inadecuada gestión puede llevar al cierre de sus operaciones [5]. Por otra parte, el manejo eficiente de la logística empresarial es un factor determinante en la globalización y modernización de las empresas [6],[7] más en tiempos de la cuarta revolución industrial. Las empresas, en especial aquellas clasificadas como micro, pequeñas y medianas empresas, requieren de estrategias que apunten a mejorar la gestión de los procesos logísticos de sus empresas [8]. Posterior a esta mejora, se debe asegurar el impacto positivo sobre la productividad y competitividad de las organizaciones. Identificar el estado actual de la madurez de los procesos logísticos, corresponde al primer paso hacia el mejoramiento del desempeño logístico y consecuentemente el desempeño de la empresa. Una empresa con claridad sobre la madurez actual de sus procesos logísticos frente a unos estándares de clase mundial le permite centrar sus esfuerzos de mejoramiento hacia aquellos procesos de mayor impacto. Esto finalmente representa información de interés para las organizaciones, en especial Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) pues permiten plantear estrategias de mejoramiento y de crecimiento a mediano y largo plazo, que ayudan a asegurar el impacto positivo sobre la productividad y competitividad de las organizaciones.

Las metodologías de evaluación de madurez han probado ser estrategias que ayudan al análisis y mejoramiento de los procesos en empresas de todos los tamaños [9]. Estas han sido trabajadas en profundidad por la universidad Carnegie Mellon en su Capability Maturity Model Integration (CMMI) [10], que permiten dar un acercamiento de alto nivel a los procesos de las empresas gracias a su potencial de impacto para su mejoramiento. El interés empresarial por esta metodología es aún mayor al incluir temas de lógica difusa que permitan la reducción de la ambigüedad presentada en las evaluaciones y en general al abordar el análisis de problemas de los procesos de manera objetiva [11], [12]. El enfoque cualitativo-cuantitativo que se logra con la combinación de las ventajas de estas temáticas promueve una mayor robustez en la investigación de metodologías para la evaluación de procesos en pequeñas organizaciones.

En este trabajo se explora el uso de la lógica difusa para reducir la ambigüedad en la evaluación de procesos logísticos de Mipymes mediante un modelo de madurez.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. La sección 2 presenta un marco teórico en términos de metodologías de evaluación y los fundamentos matemáticos de la teoría de conjuntos difusos. La sección 3 muestra la metodología utilizada en cuanto al modelo de madurez propuesto, su evaluación y su aproximación en términos difusos a través de sistemas de inferencia difusa (FIS por sus siglas en inglés), así como una propuesta de clasificación del desempeño logístico. La sección 4 presenta un caso de estudio de la implementación de la propuesta de evaluación en un grupo de tres Mipymes del sector textil colombiano. Finalmente, en la sección 6 se presentan las principales conclusiones del trabajo realizado, así como posibilidades de investigación futuras en esta temática.

II. MARCO TEORICO

A. Teoría de Conjuntos Difusos

Los términos ambiguos e imprecisos siempre existirán en los negocios. Los encargados de tomar las decisiones en las empresas encuentran en diferentes términos lingüísticos, una forma más práctica y fácil de calificar sus procesos, que muchas veces puede llevar a ambigüedades y malas interpretaciones [13]. Es así como, la teoría de conjuntos difusos se encarga de sistematizar la incertidumbre generada por la ambigüedad de los problemas [14]. La ambigüedad que puede presentarse en la descripción, planteamiento, análisis y solución que se dan a múltiples problemas junto con imprecisiones en su definición y alcance son producto de los juicios generados por los tomadores de decisiones en las empresas.

La lógica difusa producto de los conjuntos difusos resulta ser una herramienta poderosa a la hora de manejar la ambigüedad. A diferencia de la lógica tradicional binaria o booleana, la lógica difusa o *fuzzy* permite contener elementos de forma parcial. Esta permite modelar elementos cualitativos ambiguos principalmente en problemas de toma de decisiones, en términos de variables lingüísticas [15]. Las variables lingüísticas se expresan cualitativamente en términos lingüísticos y cuantitativamente a través de un conjunto *fuzzy* en el universo del discurso y la función de pertenencia respectiva [16].

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

Esta lógica se ha convertido en una gran contribución por su capacidad de representar conocimiento ambiguo en múltiples áreas del conocimiento como los sistemas de control, la minería de datos, la medicina, la ingeniería de software, la robótica y los negocios [12], [17].

B. Conjuntos difusos

Un conjunto difuso A en X es definido por:

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, x \in X$$

donde $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$ es la función de pertenencia de A y $\mu_A(x)$ hace referencia al grado de pertenencia de x en A . Si $\mu_A(x)$ es igual a 0, x no pertenece al conjunto difuso A . Si $\mu_A(x)$ es igual a 1, x pertenece completamente al conjunto difuso. Así mismo $\mu_A(x)$ puede tener un valor entre 0 y 1, a diferencia de la lógica booleana, indicando una pertenencia parcial al conjunto difuso. Siempre x es verdadero con un grado de pertenencia $\mu_A(x)$ [14].

C. Números difusos y funciones de pertenencia

Un numero difuso es un conjunto difuso que atiende a las propiedades de normalidad y convexidad. Un conjunto difuso es normal si, y solo si, existe al menos un grado de pertenencia de x , $\mu_A(x)$ igual a 1. Además, un conjunto difuso es convexo si, y solo si, $\forall x_1$ y $x_2 \in X$; junto con:

$$\forall \lambda \in [0,1], A(x)[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[A(x_1), A(x_2)]$$

donde λ corresponde a un parámetro de carga porcentual [14].

Los números difusos triangulares son una de las dos formas usadas más frecuentemente en la toma de decisiones dada su función de pertenencia intuitiva, la cual se representa por la (1).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{para } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{para } x > c \end{cases} \quad (1)$$

Los números reales a, b y c cumplen que $a < b < c$, como se muestra en la Fig. 1. Por fuera del intervalo limitado por $[a, c]$, el grado de pertenencia siempre será nulo. El valor definido por el número real b hace referencia al punto donde el grado de pertenencia es máximo o igual a 1. El eje horizontal muestra los posibles valores para X .

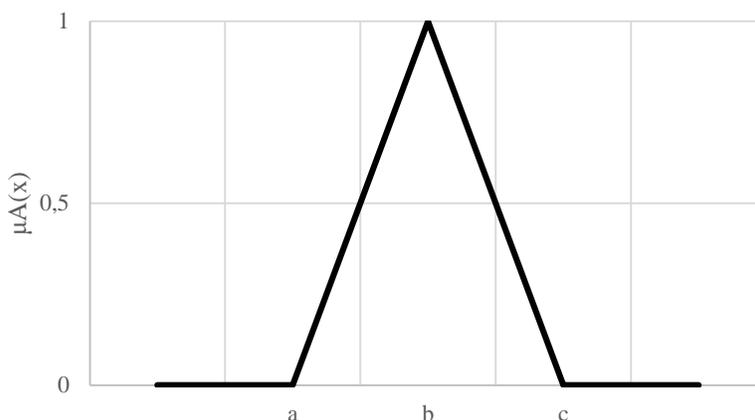


Fig. 1 Números difusos triangulares. Fuente: Autores

Otra de las formas de modelar los problemas de toma de decisiones es a través de números difusos trapezoidales, los cuales presentan al igual que los números difusos triangulares, una función de pertenencia sumamente intuitiva, agregando únicamente un tramo adicional a la función por tramos. La 2 presenta la función de pertenencia correspondiente a los números difusos tradicionales [12], [17].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{para } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{para } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{para } x > d \end{cases} \quad (2)$$

La Fig. 2 muestra los números reales a , b , c y d , cada uno mayor que el anterior respectivamente para un tramo $[a, d]$. Se diferencia de la representación triangular al contar con un tramo definido $[b, c]$ cumpliendo con $c > b$, en el cual la función de pertenencia es continua y máxima.

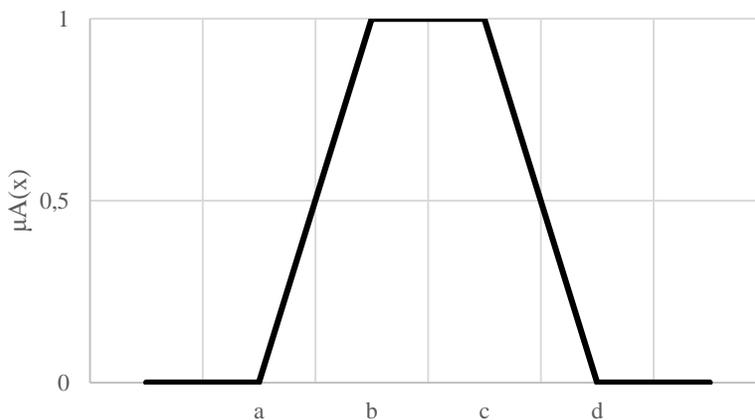


Fig. 2 Números difusos trapezoidales. Fuente: Autores

D. Sistemas de inferencia difusa

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

Los sistemas de inferencia difusa (FIS) representan un marco de referencia de cómputo popular basados en la teoría de conjuntos difusos, reglas difusas “*If-then*” y razonamiento difuso [12], [17]. Los componentes fundamentales de un sistema de inferencia difusa son los datos base; la *fuzzificación* y *defuzzificación* de los datos, las reglas base del modelo, el motor de inferencia y las entradas y salidas, tal y como se muestra en la Fig. 3.

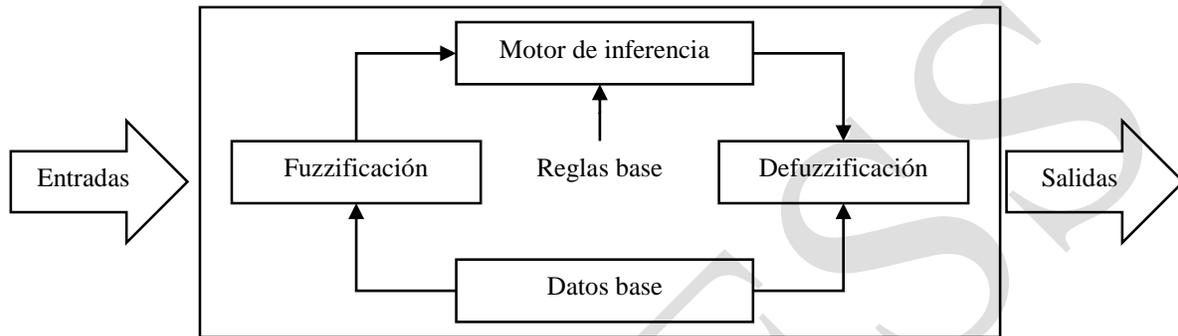


Fig. 3 Esquema del sistema de inferencia difusa. Fuente: Adaptación [19]

El sistema de inferencia utilizado con mayor frecuencia es el propuesto por Mamdani gracias a su relativa simpleza y su versatilidad [19],[20]. En este tipo de sistemas las variables difusas de salida son inferidas de variables difusas de entrada a partir de un conjunto de reglas de inferencia lógicas en términos lingüísticos [20], [22]. Las reglas base por lo general son conectores “AND” que buscan representar la relación entre variables lingüísticas difusas de entrada, implicando una salida del sistema.

E. Interacción lógica difusa y modelos de madurez

Los modelos de madurez por naturaleza son una fuente de ambigüedad en la asignación de niveles de madurez ya que dependen del uso de la lingüística para describir y calificar un proceso o una unidad de negocio. Los sistemas basados en lógica fuzzy complementan el uso de modelos de madurez para mejorar su función de diagnóstico y calificación al eliminar la ambigüedad de ellos [17]. Para ello en el modelo propuesto se utiliza FIS que tienen a la entrada y a la salida números difusos triangulares que representan la escala utilizada para evaluar la madurez de la unidad de negocio deseada [18]. De acuerdo tanto a la necesidad como a la manera en la que se encuentran planteados y diseñados los modelos, utilizan en ciertos casos números difusos trapezoidales, para definir dichas entradas y salidas.

III. PROPUESTA DE EVALUACIÓN

A. Modelo de Madurez

Los procesos a evaluar con el modelo de madurez propuesto en este artículo se enfocan hacia Micro, Pequeñas y Medianas Empresas (Mipymes) especialmente del sector manufacturero, que por lo general cuentan con limitada cantidad de recursos económicos y en materia de recurso humano capacitado y con conocimientos técnicos principalmente. La poca disponibilidad de dichos recursos implica contar con pocos procesos logísticos definidos [23],[24], [25] por lo que el modelo de madurez propuesto incluye los procesos considerados en la Tabla 1 que permiten establecer un punto de partida para las empresas. Estos procesos se evalúan en una escala definida, y para ello se basan en el desempeño real de los criterios mostrados en dicha tabla.

Tabla 1 Dimensión, procesos y criterios de evaluación del modelo de madurez propuesto. Fuente: Autores

Dimensión	Procesos	Criterios
Operaciones de Manejo de Materiales	Abastecimiento	Certificación de proveedores
		Respuesta de proveedores
		Comunicación con proveedores
		Trabajo colaborativo con proveedores
		Sistema para la gestión de proveedores
		Proceso de Compras
	Gestión del Almacenamiento	Distribución de espacios de almacenamiento
		Transporte de materiales
		Gestión de órdenes del almacén
		Picking
	Gestión de Inventarios	Control de niveles de inventarios
		Orden y mantenimiento de inventarios
		Sistematización de los inventarios
		Reabastecimiento de inventarios
		Control de calidad de los inventarios
	Control & Gestión de la Producción	Balanceo de líneas de producción
		Flexibilidad del proceso productivo
		Control de la producción
		Comunicación de información
		Estandarización de procesos
Costeo de producción		
Control de calidad producción		
Reprocesamiento		
Operaciones de Salida	Gestión de Ventas	Estrategias de venta
		Exportaciones
	Servicio al Cliente & Distribución	Servicio posventa
		Rastreo de pedidos enviados
		Garantía de la satisfacción cliente
		Distribución de pedidos
		Devoluciones de producto
	Planeación Gerencial	Planeación de demanda
		Planeación de la oferta
		Estimaciones de crecimiento
		Planeación de expansión física

La Tabla 1 presenta las dimensiones, procesos y criterios que hacen parte del modelo de madurez orientado a evaluar los procesos logísticos de una empresa, especialmente del sector manufacturero. Este ha sido diseñado de forma empírica, a partir de la experiencia de los autores. En este modelo, los criterios permiten caracterizar y visualizar el detalle de los respectivos procesos. Por su parte, los procesos se agrupan en dos dimensiones de

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

forma que se puedan ubicar las evaluaciones de madurez de estas dimensiones en un plano cartesiano. Las dimensiones definidas fueron (1) Manejo de Materiales en la que se concentran los procesos logísticos entrantes e internos y (2) Operaciones de Salida que abarca los procesos logísticos salientes y la planeación estratégica y táctica de la organización.

La escala que utiliza el modelo de madurez propuesto para evaluar los diferentes procesos que se muestran en la Tabla 1, se basan en el desempeño de los criterios presentados, se divide en los siguientes niveles de madurez: Tabla 1

- *Nivel 0:* Inicial. Considera un proceso como totalmente caótico, el cual apenas funciona. Son procesos con altos niveles de desperdicios, ineficiencias, fallas y problemas.
- *Nivel 1:* Reactivo. Tiene en cuenta aquellos procesos donde existe un poco de experiencia en su manejo, pero no lo suficiente para disminuir la gran variabilidad que se tiene en los resultados. Estos procesos no son de un conocimiento claro por la empresa y en los que no se ha profundizado sobre su gestión.
- *Nivel 2:* Explorado. Considera que en los procesos ya se cuenta con suficiente experiencia para planearlos y generar una documentación básica que asegure unos estándares mínimos de cumplimiento.
- *Nivel 3:* Estable. Tiene en cuenta procesos donde se cuenta con conocimientos más profundos obtenidos a través de la experiencia. Procesos con errores y defectos cada vez más neutralizados durante su ejecución. Se busca que la ejecución del proceso sea amigable y sencillo para los empleados.
- *Nivel 4:* Administrado Cuantitativamente. Son procesos en los cuales se cuenta con una gestión por procesos bien definida se conocen las entradas y salidas, así como el uso de indicadores para medir su desempeño. Los procesos cuentan con estrategias y actividades planeadas y/o en ejecución para el mejoramiento de los indicadores claves de gestión.
- *Nivel 5:* En Optimización. Son procesos que se asemejan a los de una gran empresa, donde la tecnología, la innovación, la mejora continua y la participación de múltiples empresas e individuos aseguran el éxito de éstos. Procesos en este nivel aseguran una alta satisfacción, productividad, competitividad y calidad del producto y de la empresa.

En cuanto al recurso humano involucrado de manera transversal en el proceso, se plantea que a medida que mayor sea el nivel de madurez, se espera que el personal se encuentre más entrenado, capacitado y comprometido con la empresa. La evaluación de madurez de los procesos se realiza teniendo como punto de partida y guía los distintos criterios con lo que se cuenta para cada uno de ellos. Por su parte la evaluación de la madurez de las dimensiones se realiza con ayuda de lógica difusa y que corresponde a la propuesta del presente artículo.

B. Proceso de evaluación

El proceso de evaluación de la madurez de los procesos se realiza utilizando como guía los criterios, y los niveles de madurez propuestos aplicados directamente a los procesos. Los criterios son utilizados como medio para contextualizar al evaluador sobre la actualidad de los procesos y tener una idea general sobre el desempeño global con el que cuenta el proceso. Sin embargo, es a través de los niveles de madurez que se realiza la calificación directa sobre la madurez de los procesos, en donde a cada proceso se le asigna un nivel de madurez, según la escala de evaluación mencionada anteriormente, esto de acuerdo con el nivel de desarrollo percibido por la empresa o el responsable de realizar la evaluación, en él. Por su parte, para determinar la madurez de las dimensiones se propone un FIS que utiliza como entrada la madurez asignada a cada proceso. Posteriormente se introduce una matriz a forma del primer cuadrante de un plano cartesiano donde los ejes corresponden a la madurez de cada una de las dimensiones. Al ubicar en dicha matriz el punto donde la madurez de las dimensiones coincide, se asigna una calificación general del desempeño logístico de la Mipyme. Tanto la matriz como la calificación del desempeño son los principales elementos que ayudan a la identificación de aquellos procesos en niveles bajos, con miras a realizar propuesta que apunten al mejoramiento del desempeño logístico de la empresa.

C. Consideraciones y parámetros del FIS

Las reglas base que permiten identificar la propuesta de evaluación se definen a partir de la experiencia presentada por seis consultores expertos en procesos logístico de las organizaciones [22]. Los expertos consultados presentan una gran experiencia en la toma de decisiones estratégicas, tácticas y operacionales a nivel empresarial. A cada experto se le hizo la consulta sobre la descripción de cada uno de los niveles de madurez para las dimensiones definidas en el presente trabajo a través de una entrevista no estructurada donde se indagó sobre su percepción de la madurez de las dimensiones consideradas en la Tabla 1. Como se menciona anteriormente, se utiliza el tipo de sistema de inferencia difusa propuesto por Mamdani y Assilian [20] que establece definir naturalmente el método *t-norm*:

$$\mu_A(x) \text{ AND } \mu_B(y) = \text{MIN}\{\mu_A(x), \mu_B(y)\} \quad (3)$$

para el conector lógico “AND”. Además, establece utilizar una relación de implicación mínima:

$$\mu_{R_{A \rightarrow B}}(x, y) = \text{MAX}\{1 - \mu_A(x), \text{MIN}\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}\} \quad (4)$$

mientras que se utiliza un operador máximo:

$$\text{AG}(\cdot) = \text{MAX}(\mu_{R_1}(x), \mu_{R_2}(x), \dots, \mu_{R_n}(x)) \quad (5)$$

para la agregación (AG(.)) [22]. Este operador máximo toma el valor más alto de pertenencia μ de la salida de cada regla R_n para todo valor x considerado. Finalmente, para la figura resultante de la agregación se utiliza una técnica de centroide (CoA):

$$\text{CoA} = \frac{\sum_{k=1}^n (\mu_A(x_k) * x_k)}{\sum_{k=1}^n (\mu_A(x_k))} \quad (6)$$

para la *defuzzificación* [21] que termina por ser el final del sistema de inferencia. La técnica de centroide divide la figura resultante de la agregación en figuras más pequeñas -rectángulos y triángulos-, para de esta manera hacer la sumatoria de las áreas multiplicado por los centros de gravedad de cada una de estas figuras pequeñas y dividirlo por la sumatoria de las áreas en términos de funciones de pertenencia μ_A . De esta manera se obtiene un resultado final y nuevamente es posible hablar en términos cualitativos.

D. Definición lingüística de variables y reglas base

Definidos los parámetros del conector lógico, los métodos de implicación y agregación, y la técnica de *defuzzificación*, que caracterizan el FIS, se procede a establecer los términos lingüísticos que se utilizan como medida cualitativa de evaluación de madurez para los procesos (entradas) y las dimensiones (salidas). La Tabla 2 presenta los niveles de madurez previamente mencionados y su interpretación desde la lingüística que permiten describir la madurez de todos los procesos del modelo de madurez propuesto.

Tabla 2 Términos lingüísticos equivalentes a niveles de madurez y los números difusos correspondientes.
Fuente. Autores

Nivel de Madurez	Nombre Nivel de Madurez	Términos Lingüísticos	Números difusos
Nivel 0 (Lvl0)	Inicial	Deficiente (D)	[0 0 20]
Nivel 1 (Lvl1)	Reactivo	Insuficiente (I)	[0 20 40]

Nivel de Madurez	Nombre Nivel de Madurez	Términos Lingüísticos	Números difusos
Nivel 2 (Lv12)	Manejado	Aceptable (A)	[20 40 60]
Nivel 3 (Lv13)	Estable	Bueno (B)	[40 60 80]
Nivel 4 (Lv14)	Administrado Cuantitativamente	Sobresaliente (S)	[60 80 100]
Nivel 5 (Lv15)	En Optimización/Mejor en su clase	Excelente (E)	[80 100 100]

Los términos lingüísticos de la Tabla 2 son una forma alternativa para representar la madurez, siendo la manera de referirse al nivel de desarrollo y desempeño de un proceso. Todos los niveles de madurez utilizados como variables de entrada y salida del FIS se representan a través de números difusos triangulares que se muestran en la última columna de la Tabla 2. El rango definido para las entrada y salidas se establece entre 0 y 100, los cuales se interpretan como el nivel de madurez total alcanzado por un proceso. De esta manera, se establece números difusos triangulares semejantes para todos los niveles de madurez, dándoles la misma importancia a todos. El sistema de inferencia difusa correspondiente al nivel de madurez de las variables mencionadas se muestra en la Fig. 4.

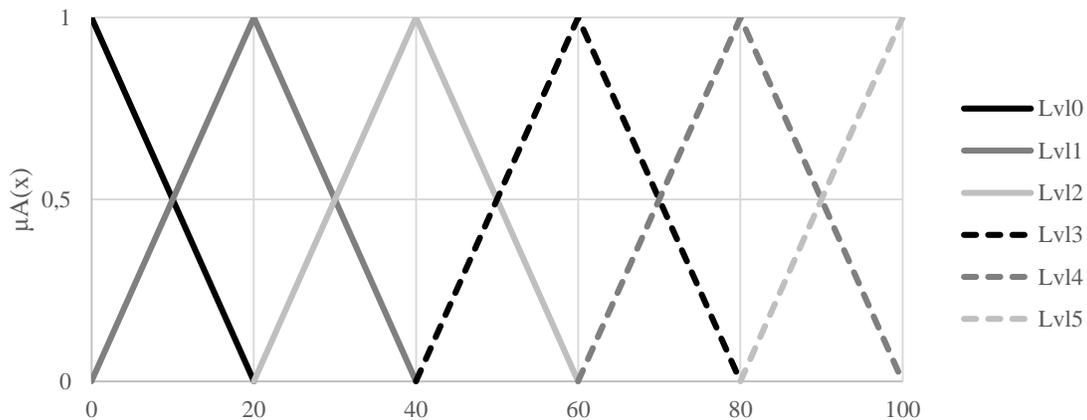


Fig. 4 Sistema de inferencia difusa. Fuente: Autores

Cada cresta de la Fig. 4 representa uno de los niveles de madurez descritos en términos lingüísticos y representados a través de los números difusos triangulares anteriormente expuestos.

Las reglas base de cada uno de los FIS, tanto para la dimensión de operaciones de manejo de materiales como la de operaciones de salida se basan en la experiencia brindada por los expertos consultados. El nivel de experticia de cada experto fue medido de acuerdo con sus roles profesionales previos, trabajos relevantes y nivel educativo alcanzado. Los expertos en el momento del desarrollo del FIS contaban con grados en ingeniería y estudios de posgrado en las áreas de operaciones y logística. Asimismo, cada uno de ellos había ocupado posiciones administrativas de líder con personal a cargo y con poder de tomar decisiones. A cada uno de los expertos consultados se les pidió que, de acuerdo con su experiencia profesional, dieran una calificación de la madurez esperada de los procesos para un nivel de madurez determinado de cada una de las dimensiones especificadas en la Tabla 1. Esta estimación dada por los expertos para cada dimensión permitió determinar las reglas para el FIS de cada una de ellas. La Tabla 3 y la Tabla 4 muestran respectivamente las reglas del FIS de la dimensión de Operaciones de Manejo de Materiales y del FIS de la dimensión de Operaciones de Salida.

Tabla 3 Reglas base del primer FIS para las operaciones de manejo de materiales. Fuente: Autores

Experto	IF_ Abastecimiento	AND_ Gestión del Almacenamiento	AND_ Gestión de Inventarios	AND_ Control & Gestión de la Producción	_THEN Operaciones de Manejo de Materiales
1	A	I	D	D	D
2	B	A	I	I	I
3	B	A	A	A	A
4	S	B	S	A	B
5	S	S	B	B	S
6	S	E	E	S	E

Tabla 4 Reglas base del segundo FIS para las operaciones de salida. Fuente: Autores

Experto	IF_ Gestión de Ventas	AND_ Servicio al Cliente & Distribución	AND_ Planeación Gerencial	_THEN Operaciones de Salida
1	S	E	B	E
2	S	S	B	S
3	B	B	S	B
4	B	B	A	A
5	A	I	A	I
6	I	D	A	D

Tanto para la Tabla 3 como para la Tabla 4, las letras que se encuentran ubicadas corresponden a los términos lingüísticos que representan los niveles de madurez expuestos en la Tabla 2. Para su definición, a los expertos se les entregaron las condiciones de madurez de los procesos, y desde su experiencia junto con los términos lingüísticos correspondientes, asignaron el término lingüístico a las correspondientes dimensiones. Por ejemplo, el experto *número 1* para el FIS de la dimensión de operaciones de salida (Tabla 4) considera que con una gestión de ventas *Suficiente*, un servicio al cliente *Excelente* y una planeación gerencial *Buena*, la dimensión de operaciones de salida puede calificarse como *Excelente*, lo que corresponde al nivel de madurez 5 de acuerdo con la Tabla 2.

E. Propuesta de clasificación final

Las Mipymes, con las consideraciones y reglas mencionadas, pueden calcular el desempeño logístico de las dimensiones propuestas en Tabla 1. Las dimensiones se evalúan basadas en la madurez de sus respectivos

procesos logísticos. La Fig. 5 muestra la matriz a forma del primer cuadrante de un plano cartesiano donde las empresas pueden con los resultados obtenidos de los FIS de ambas dimensiones ubicar y calificar su desempeño global. Para ello ubican la calificación obtenida por cada FIS en el eje correspondiente, y el punto resultante de la intersección de ambas calificaciones determinara la región que mejor describe el desempeño logístico global de la empresa.

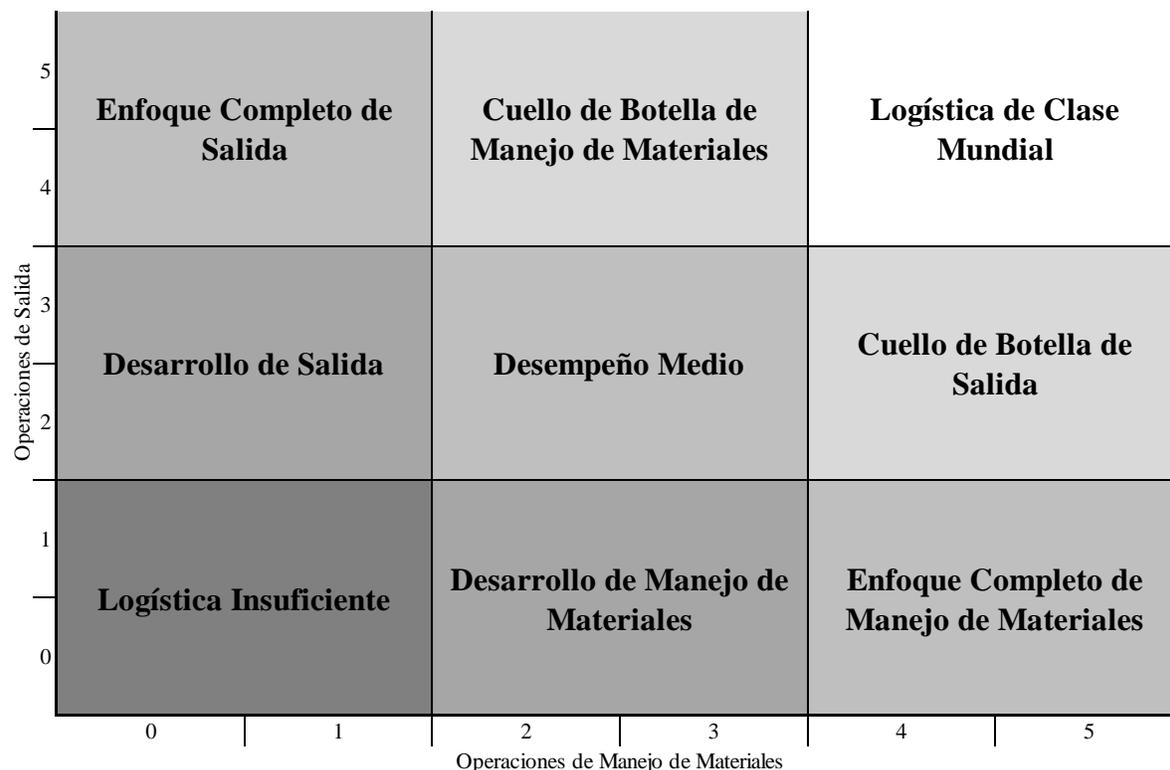


Fig. 5 Matriz de clasificación del desempeño logístico. Fuente: Autores

La matriz permite tener una visión global sobre la posición de la empresa frente a su desempeño logístico y a lo que se espera de una Mipymes en términos logísticos. Esta evaluación permitirá al tomador de decisiones de la pequeña organización enfocar los esfuerzos, para equilibrar el sistema y en miras a lograr una logística de clase mundial. Los esfuerzos deben estar enfocados a, sin reducir la madurez de ninguno de sus dimensiones, fortalecer la dimensión con menor calificación de madurez apoyado en los propios niveles de madurez. La Tabla 5 describe cada una de las zonas en la matriz de calificación, mostrando además cual debe ser la dirección de mejora ideal para la empresa, asegurando un equilibrio en la madurez de las dimensiones.

Tabla 5 Descripción de las zonas consideradas en la Matriz de calificación del desempeño logístico. Fuente: Autores

Nombre Zona	Limites Operaciones de Salida	Limites Operaciones de Manejo de Materiales	Descripción	Dirección de Mejora Sugerida
Logística Insuficiente	[0, 1]	[0, 1]	Gestión logística totalmente caótica y sin control.	Desempeño Medio
Desarrollo de Salida	[2, 3]	[0, 1]	Trabaja en las operaciones de salida exclusivamente. Debe buscar trabajar en el	Desempeño Medio

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

Nombre Zona	Limites Operaciones de Salida	Limites Operaciones de Manejo de Materiales	Descripción	Dirección de Mejora Sugerida
			manejo de materiales para evitar desequilibrios del sistema.	
Desarrollo de Manejo de Materiales	[0, 1]	[2, 3]	Trabaja en las operaciones de manejo de materiales exclusivamente. Debe buscar trabajar en las operaciones de salida para evitar desequilibrios del sistema.	Desempeño Medio
Enfoque Completo de Salida	[4, 5]	[0, 1]	Excelente gestión de las operaciones de salida, pero totalmente caótica en el manejo de materiales. Sistema totalmente desequilibrado.	Cuello de Botella de Manejo de Materiales
Desempeño Medio	[2, 3]	[2, 3]	Zona de confort. Idealmente debe buscar trabajar en ambas dimensiones en paralelo. Acciones de mejora en cualquier dimensión debe mostrar impacto positivo.	Logística de Clase Mundial
Enfoque Completo de Manejo de Materiales	[0, 1]	[4, 5]	Excelente gestión en el manejo de materiales, pero totalmente caótica en las operaciones de salida. Sistema totalmente desequilibrado.	Cuello de Botella de Salida
Cuello de Botella de Manejo de Materiales	[4, 5]	[2, 3]	Excelentes operaciones de salida. Cuenta con el manejo de materiales, sin ser malo, como un impedimento para la obtención de una excelencia logística.	Logística de Clase Mundial
Cuello de Botella de Salida	[2, 3]	[4, 5]	Excelente manejo de materiales. Cuenta con las operaciones de salida, sin ser malas, como un impedimento para la obtención de una excelencia logística.	Logística de Clase Mundial
Logística de Clase Mundial	[4, 5]	[4, 5]	Gestión logística que busca crecer y asemejarse a la presente en grandes organizaciones de renombre.	Logística de Clase Mundial

IV. PRUEBA PILOTO

Con el fin de probar el modelo madurez y la correspondiente propuesta de evaluación basada en lógica difusa, se realizó un piloto con tres Mipymes colombianas del sector manufacturero. A cada una de las empresas se le solicitó hacer una calificación de sus procesos con los niveles de madurez definidos en los términos lingüísticos necesarios. Para ello cada tomador de decisiones evaluó los procesos de la Tabla 1 de acuerdo con los niveles de madurez definidos anteriormente, cuyos resultados se pueden observar en la Tabla 6. Los resultados de la evaluación de los procesos de cada una de las empresas fueron ingresados a los correspondientes FIS, según la dimensión a la cual perteneciera el proceso. La Fig. 6 muestra las seis salidas del ejercicio propuesto (dos dimensiones para cada una de las tres empresas). Dichas salidas son la puesta en marcha del FIS representado en la Fig. 4, donde se consolidan los números difusos triangulares de los niveles de madurez.

Tabla 6 Resultados de la encuesta diligenciada por cada empresa

Empresa	Operaciones de Manejo de Materiales	Operaciones de Salida

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

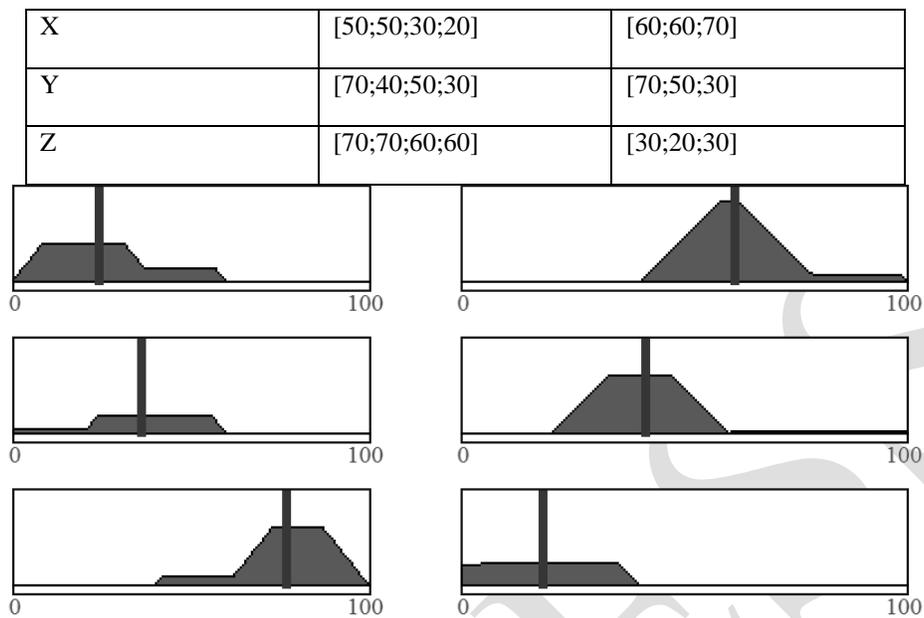


Fig. 6 Calificación de la madurez de las dimensiones del piloto en las empresas. Fuente: Autores

Estos resultados se obtienen basados en las reglas establecidas en la Tabla 3 y en la Tabla 4. La primera columna de graficas corresponde a la dimensión de operación de manejo de materiales y la segunda columna corresponde a la dimensión de operaciones de salida. Por su parte la primera, segunda y tercera fila de graficas hacen referencia a las empresas “X”, “Y” y “Z” respectivamente.

Los resultados y las calificaciones del desempeño de cada una de las dimensiones para las empresas de la prueba piloto se muestran en la Tabla 7. De esta forma, se ubican los resultados numéricos de las dimensiones de cada empresa en la matriz de calificación propuesta en la Fig. 5. La calificación logística global, de acuerdo con la zona de la matriz donde queda ubicada la empresa, se muestra en la tabla.

Tabla 7 Resultados de la prueba piloto. Fuente: Autores

Empresa	Operaciones de Manejo de Materiales	Nivel de Desempeño de Manejo de Materiales	Operaciones de Salida	Nivel de Desempeño de Salida	Clasificación logística global
X	24.7	Insuficiente	61.8	Bueno	Desarrollo de Salida
Y	36.3	Aceptable	41.9	Aceptable	Desempeño Medio
Z	77	Sobresaliente	18.9	Insuficiente	Enfoque Completo de Manejo de Materiales

La prueba piloto presenta tres empresas con tres desempeños logísticos globales totalmente diferentes. La empresa denominada como “X” es una empresa que presenta una calificación de “Desarrollo de Salida”. Es una empresa que tiene en general poca madurez de sus procesos logísticos, sin embargo, viene trabajando en el desarrollo de los procesos de logística de salida. Debe buscar enfocar futuros esfuerzos en la mejora de los procesos de manejo de materiales para evitar cuellos de botella y desequilibrios logísticos.

Por su parte la empresa “Y” presenta un desempeño promedio. Es el momento de que busque tener el mismo nivel de desempeño en ambos tipos de operaciones. Posteriormente las decisiones que se tomen deben buscar mejorar ambas Dimensiones por igual, procurando llegar directamente a una logística de clase mundial.

Por último, la empresa “Z” exhibe una calificación de “Enfoque Completo de Manejo de Materiales”. La empresa se ha enfocado totalmente en el manejo de materiales e insumos, descuidando la dimensión estratégica de salida. Sin descuidar la madurez de sus procesos actuales, la empresa debe mejorar tanto su planeación gerencial como su logística de salida. Se encuentra en una zona de desequilibrio que cuesta trabajo salir de ella, pero cuenta con todo el potencial de tener una logística de clase mundial siempre y cuando tome las decisiones acertadas. Nuevamente las decisiones que tome para mejorar la dimensión de bajo desempeño deben procurar no afectar el desempeño de la dimensión de alto desarrollo.

El piloto desarrollado en las empresas no representa una evaluación logística definitiva para ellas. Cualquier acercamiento físico y presencial que se pueda tener con las empresas aporta y apoya a los sistemas FIS desarrollados. Los criterios mencionados con anterioridad deben en lo posible ser lo primero que se evalúe presencialmente, pues dan una visión más clara sobre los procesos. La calificación brindada permite tener un vistazo inicial de las decisiones tomadas a nivel logístico de las empresas del piloto, así como mostrar acciones que deben tomarse en el futuro. Finalmente, se evidencia como la lógica difusa es capaz de tomar la ambigüedad de las calificaciones de madurez dadas por las mismas empresas, para dar una evaluación justa e imparcial que conserva la experiencia de expertos apoyado en los FIS desarrollados.

V. CONCLUSIONES

El enfoque hacia la logística empresarial en este trabajo se da por su importancia en el impacto de las decisiones que se toman en este sentido. Asimismo, el enfoque en Mipymes promueve el mejoramiento empresarial de este tipo de empresas [26] y les da la oportunidad de conocerse y desarrollarse.

El diseño del modelo de madurez propuesto tiene ventaja sobre otros modelos propuestos al contar con: procesos de operaciones y logística orientados a Mipymes, que presentan muchas limitaciones tanto de recursos como de conocimiento; niveles de madurez con prácticas alcanzables que a su vez son guías para la mejora de procesos; y una metodología de evaluación de dimensiones y empresarial global basada en modelos matemáticos importantes como la teoría de conjuntos difusos.

El modelo de madurez soportado en la lógica difusa permitió soportar la incertidumbre y la ambigüedad dada por la calificación de la madurez de los procesos de la empresa. El sistema de inferencia difusa tomo la ambigüedad, y con ayuda de las reglas del sistema de inferencia planteadas por los expertos consultores, brindo una evaluación objetiva de las dimensiones propuestas por el modelo de madurez, así como la evaluación empresarial a través de la matriz propuesta.

La propuesta del modelo del modelo de madurez y su correspondiente evaluación no buscan dar una solución final a las falencias empresariales; pretende obtener un diagnóstico inicial y de comparación de la madurez de los procesos logísticos. Este no busca juzgar las decisiones tomadas por la empresa, por el contrario, pretende sugerir un replanteamiento de estrategias que la beneficien. En consecuencia, cualquier acercamiento adicional para la evaluación logística que pueda tener la empresa constituye un apoyo fuerte para su mejora.

Finalmente, el propósito del artículo se resume en la propuesta de una metodología de apoyo a empresas que cuentan con problemas en la toma de decisiones y en la mejora de sus procesos logísticos que son cuellos de botella de su productividad y competitividad.

La diferencia de este artículo respecto a otros del mismo campo de estudio se encuentra en el desarrollo no solo de un modelo de madurez logístico enfocado en Mipymes, sino también en la elaboración de una propuesta para la evaluación integral de los procesos logísticos considerados en el modelo de madurez [27], agrupados a su vez en dos dimensiones de la logística, a través de un sistema de inferencia difuso. Igualmente, se presenta el sustento teórico y práctico que aseguren la reproducibilidad del estudio y del modelo, desde la parametrización, las reglas utilizadas, los métodos de recolección y las metodologías de investigación seguidas [28],[29]. El modelo de madurez por su parte es un modelo liviano, sencillo de implementar y pensado para las necesidades logísticas de las pequeñas organizaciones [30].

Para futuras líneas de investigación, este trabajo puede ser considerado para la construcción de modelos de madurez más amplios orientados a la logística empresarial, o a otros campos que requieran evaluar procesos de

madurez. Además, se puede plantear el desarrollo de plataformas que faciliten el acceso a la evaluación de los procesos de las empresas de un mismo sector, en la que, además, automatice la evaluación de las dimensiones del modelo mediante un sistema de inferencia difusa, como se presentó en este trabajo. Adicionalmente, se sugiere complementar las reglas en el modelo propuesto para tener un mayor rango de aplicación del FIS; así como la exploración de modelos en el campo *neuro-fuzzy*.

VI. REFERENCIAS

- [1] J. W. M. Bertrand and J.C.Fransoo, J. C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. *International Journal of Operations & Production Management.*, vol 22, no 2, pp. 241-264, 2002
- [2] M. Tracey, “The Importance of Logistics Efficiency to Customer Service and Firm Performance,” *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 9, no. 2, pp. 65–81, Jul. 1998 <https://doi.org/10.1108/09574099810805843>.
- [3] Green, K. W., Whitten, D., & Inman, R. A.. The impact of logistics performance on organizational performance in a supply chain context. *Supply Chain Management: An International Journal.*, vol. 13, no, pp. 317 –327, 2008.
- [4] Departamento Nacional de Planeación, “Encuesta Nacional Logística,” 2018.
- [5] T. Tokar, “Behavioural research in logistics and supply chain management,” *Int. J. Logist. Manag.*, vol. 21, no. 1, pp. 89–103, 2010 <https://doi.org/10.1108/09574091011042197>.
- [6] R. Puertas, L. Martí, and L. García, “Logistics performance and export competitiveness: European experience,” *Empirica*, vol. 41, no. 3, pp. 467–480, 2014 <https://doi.org/10.1007/s10663-013-9241-z>.
- [7] L. Martí, R. Puertas and L. García. The importance of the Logistics Performance Index in international trade. *Applied economics*, vol. 46, no 24, pp. 2982-2992, 2014.
- [8] L. J. Branicki, B. Sullivan-Taylor, and S. R. Livschitz, “How entrepreneurial resilience generates resilient SMEs,” *Int. J. Entrep. Behav. Res.*, vol. 24, no. 7, pp. 1244–1263, 2018 <https://doi.org/10.1108/IJEER-11-2016-0396>.
- [9] E. Pérez-Mergarejo, I. Pérez-Vergara, and Y. Rodríguez-Ruiz, “Maturity models and the suitability of its application in small and medium enterprises,” *Ing. Ind.*, vol. 35, no. 2, pp. 149–160, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.12.005>.
- [10] CMMI Product Team, “CMMI for Development, Version 1.3: Improving Processed for Better Products and Services,” *Carnegie Mellon Univ. Softw. Eng. Inst.*, no. November, 2010 <https://doi.org/CMU/SEI-2010-TR-033> ESC-TR-2010-033.
- [11] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility,” *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 1, no. 1, pp. 3–28, Jan. 1978 [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(78\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0165-0114(78)90029-5).
- [12] H.-J. Zimmermann., *Fuzzy set theory—and its applications*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [13] W. P. Wang, “A fuzzy linguistic computing approach to supplier evaluation,” *Appl. Math. Model.*, vol. 34, no. 10, pp. 3130–3141, 2010 <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.02.002>.
- [14] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A Zadeh* pp. 394–432, 1996.
- [15] F. Herrera and L. Martínez, “A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making,” *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B Cybern.*, vol. 31, no. 2, pp. 227–234, 2001 <https://doi.org/10.1109/3477.915345>.
- [16] L. Osiro, F. R. Lima-Junior, and L. C. R. Carpinetti, “A fuzzy logic approach to supplier evaluation for development,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 153, pp. 95–112, 2014 <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.009>.
- [17] F. Ahmed, L. F. Capretz, and J. Samarabandu, “Fuzzy inference system for software product family process evaluation,” *Inf. Sci. (Ny).*, vol. 178, no. 13, pp. 2780–2793, 2008 <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.03.002>.
- [18] C. B. Pedroso, L. D. D. R. Calache, F. R. L. Junior, A. L. da Silva, and L. C. R. Carpinetti, “Proposal of a model for sales and operations planning (S&OP) maturity evaluation,” *Production*, vol. 27, pp.

© The author; licensee Universidad de la Costa - CUC.

INGE CUC Vol. 18. No. 1, Enero – Junio, 2022.

Barranquilla. ISSN 0122-6517 Impreso, ISSN 2382-4700 Online

- 1–17, 2017 <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20170024>.
- [19] A. V. N. dos Santos, L. B. Felix, and J. G. V. Vieira, “Estudo da logística de distribuição física de um laticínio utilizando lógica fuzzy,” *Production*, vol. 22, no. 3, pp. 576–583, Jun. 2012 <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000036>.
- [20] E. H. Mamdani and S. Assilian, “An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller,” *Int. J. Man. Mach. Stud.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975 [https://doi.org/10.1016/S0020-7373\(75\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0020-7373(75)80002-2).
- [21] A. Amindoust, S. Ahmed, A. Saghafinia, and A. Bahreininejad, “Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system,” *Appl. Soft Comput.*, vol. 12, no. 6, pp. 1668–1677, Jun. 2012 <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.01.023>.
- [22] F. R. L. Junior, L. Osiro, and L. C. R. Carpinetti, “A fuzzy inference and categorization approach for supplier selection using compensatory and non-compensatory decision rules,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 13, no. 10, pp. 4133–4147, 2013 <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2013.06.020>.
- [23] Y. E. Chan, N. Bhargava, and C. T. Street, “Having arrived: The homogeneity of high-growth small firms,” *J. Small Bus. Manag.*, vol. 44, no. 3, pp. 426–440, 2006 <https://doi.org/10.1111/j.1540-627X.2006.00180.x>.
- [24] R. Gélinas, and Y. Bigras. The characteristics and features of SMEs: favorable or unfavorable to logistics integration?. *Journal of Small Business Management.*, vol. 42, no 3, pp. 263-278, 2004.
- [25] T. A. Chin, A. B. A, Hamid, A. Rasli & R. Baharun, Adoption of supply chain management in SMEs. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 65, p. 614-619., 2012
- [26] A. Engelen, F. Heinemann, and M. Brettel, “Cross-cultural entrepreneurship research: Current status and framework for future studies,” *J. Int. Entrep.*, vol. 7, no. 3, pp. 163–189, 2009 <https://doi.org/10.1007/s10843-008-0035-5>.
- [27] B. Asdecker, B., and V. Felch, Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains. *Journal of Modelling in Management.* vol. 13 No. 4, pp. 840-883, 2018
- [28] C. B. Pedroso, L. D. D. R. Calache, F. R. L. Junior, A. L. da Silva, and L. C. R. Carpinetti, “Proposal of a model for sales and operations planning (S&OP) maturity evaluation,” *Production*, vol. 27, pp. 1–17, 2017 <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20170024>. (Ya esta incluído en las referencias)
- [29] R. G. G. Caiado, L. F. Scavarda, L. O. Gavião, P. Ivson, D. L. de Mattos Nascimento and J. A. Garza-Reyes, A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 231, 107883, 2021.
- [30] Pérez-Mergarejo, E., Pérez-Vergara, I., & Rodríguez-Ruiz, Y. (2014). Maturity models and the suitability of its application in small and medium enterprises. *Ingeniería Industrial*, 35(2), 149–160. <https://www.researchgate.net/publication/284177930%0AModelos>