

Sistema de inferencia difuso para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas en el sistema financiero colombiano¹

Fuzzy inference system for determining the risk profile of investors in the Colombian financial system

Milton Samuel Camelo Rincón²
Mónica Patricia Enciso Pulido³

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.33.9735>

RESUMEN

Las entidades financieras determinan el perfil de riesgo de los inversionistas mediante encuestas que simplifican en exceso la complejidad en las preferencias del individuo, lo que limita la oferta de sus portafolios hacia sus clientes. De ahí surge la necesidad de emplear **métodos alternativos** para brindar una mayor pertinencia en los portafolios que ofrecen estas entidades. En ese sentido, se parte de la siguiente pregunta: ¿cómo estructurar un sistema para determinar de forma más adecuada el perfil de riesgo de los inversionistas? Como respuesta, esta investigación desarrolla una propuesta metodológica basada en la lógica difusa, según la cual los inversionistas se categorizan en escalas no discretas de riesgo, considerando la vaguedad y heterogeneidad en las características de cada individuo. Los resultados muestran que el sistema de inferencia difuso propuesto mejora potencialmente la clasificación del perfil de riesgo, capturando las particularidades del inversionista.

Palabras claves: inferencia difusa, perfil de riesgo, preferencias, inversionista, sistema financiero.

ABSTRACT

Financial institutions determine the risk profile of investors through surveys that oversimplify the complexity of individual preferences, which limits the portfolio of these institutions. Thus arises the need to use alternative methods to provide greater relevance in the portfolios offered by the financial system. In this sense, the starting point is the following question: how to structure a system to more adequately determine the risk profile of investors? In response, this research develops a methodological proposal based on fuzzy logic, according to which investors are categorized within non-discrete risk scales, considering the vagueness and heterogeneity in the characteristics of each individual. The results show that the proposed fuzzy inference system potentially improves the risk profile classification, capturing the particularities of the investor.

Keywords: fuzzy logic, risk profile, preferences, investor, financial system.



Cómo citar este artículo: M. Camelo Rincón and M. Enciso Pulido. "Sistema de inferencia difuso para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas en el sistema financiero colombiano". *Ingeniare*, vol. 19, no. 33, pp. 89-110, Diciembre 2022.

¹ Artículo resultado del proyecto de investigación titulado *Metodologías alternativas para la evaluación de los mercados financieros en América Latina* financiado por la Universidad de la Salle.

² Magister en Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Colombia. Profesor investigador de la Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. mcamelo@unisalle.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8727-1257>

³ Magister en Administración de Negocios (MBA) de la Universidad Sergio Arboleda. PRIME Bussines School. Bogotá, Colombia. monica.enciso01@correo.usa.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2451-7114>

1. INTRODUCCIÓN

Algunas categorías de perfil de riesgo de un inversionista son generalmente aceptadas y son pocas las que cuestionan su utilidad. En efecto, establecer un perfil de riesgo suele ser el primer paso que un asesor de inversión certificado o una compañía realiza para guiar la toma de decisiones del inversionista y así administrar su portafolio de inversión. El Decreto 661 del 17 de abril de 2018 reglamenta este aspecto en el caso colombiano [1], estableciendo que el perfil del cliente debe evaluar su conocimiento en inversiones, objetivos de inversión, tolerancia al riesgo y el horizonte de tiempo, entre otros. Teniendo en cuenta esto, las entidades financieras suelen definir tres perfiles básicos: conservador, moderado y arriesgado. El perfil conservador aplica para personas que prefieren obtener menor rentabilidad a cambio de minimizar el riesgo de su inversión; el moderado supone personas que toleran cierto nivel de riesgo por mayor utilidad; el arriesgado o especulativo se refiere a inversionistas que asumen alto nivel de riesgo en busca de retornos más altos y entienden que pueden tener mayores pérdidas. Para la clasificación del cliente, las entidades financieras utilizan encuestas sencillas, dándole a cada pregunta una ponderación y al final el resultado lo ubica en alguna de las categorías descritas.

Sin embargo, la simplicidad con la que se determina el perfil de riesgo en Colombia deja abierta la posibilidad de que los portafolios de los inversionistas no queden organizados de acuerdo con sus preferencias reales y tolerancia al riesgo. Los límites reduccionistas en la determinación del perfil de riesgo, al evitar la complejidad del sistema, pueden llevar a errores en la toma de decisiones y en la selección de portafolios de inversión, implicando pérdidas no contempladas [2]. Por ejemplo, cuando hay momentos de alta volatilidad en el mercado los inversionistas pueden sufrir caídas notorias en sus portafolios, que los llevan a entrar en pánico y tomar decisiones que los impulsan a retirar su dinero y afrontar pérdidas aún mayores [3]. Por esta razón, las entidades financieras necesitan crear herramientas que permitan considerar la subjetividad de las preferencias de los inversionistas, sus expectativas y su grado de conocimiento.

Entre las herramientas novedosas que han tenido éxito en el campo financiero se encuentra la lógica difusa. Las bondades de este enfoque están en su capacidad de reconocer la imprecisión, la incertidumbre y la complejidad del entorno, propiedades básicas de las finanzas. Así, la lógica difusa ha permitido la modelación en áreas como el pronóstico en mercados financieros, las finanzas personales, las finanzas públicas, entre otras, constituyendo una herramienta que aún tiene mucho potencial de aplicación [4].

El objetivo de este trabajo es proponer un sistema de inferencia difuso, que considere múltiples variables internas y externas para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas. El enfoque implica la consulta a expertos, el uso de información aproximada e imprecisa, aproximaciones matemáticas y simulaciones construidas a partir de lógica difusa. Esta propuesta se justifica en términos prácticos en

que al mejorar el perfilamiento de los inversionistas las entidades financieras pueden conocer mejor a sus clientes, los inversionistas pueden gestionar mejor sus recursos y el sistema financiero obtiene estabilidad ante situaciones de crisis, pues si la empresa conoce a sus clientes pueden tomar mejores decisiones.

Este documento presenta primero una revisión de literatura que contextualiza el perfil de riesgo en Colombia y la inferencia difusa; posteriormente, la metodología de construcción del sistema difuso para determinar el perfil de riesgo de los inversionistas; luego, los resultados del sistema mediante su aplicación en un grupo de inversionistas, y finalmente se discuten los hallazgos y se concluye respecto al alcance del sistema propuesto.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Perfil de riesgo de los inversionistas en Colombia

El término perfil de riesgo se refiere a los aspectos que determinan el grado de riesgo que una persona o empresa está dispuesta a asumir al momento de invertir su dinero. Básicamente, define la tolerancia frente al riesgo que implican decisiones de inversión [5]. Para establecer el perfil de riesgo de un inversionista se pueden considerar paradigmas teóricos que aparecen en la bibliografía financiera, como la teoría prospectiva, en la que los individuos utilizan un esquema heurístico para evaluar sus posibles pérdidas o ganancias en situaciones de riesgo [6], o las teorías psicológicas sobre la personalidad, como el modelo de los “cinco grandes”, en el que se establecen que los factores de apertura a la experiencia, la conciencia, la extraversión, la amabilidad y el neurotismo determinan el perfil del individuo [7], [8]. De esta forma, los procedimientos adoptados internacionalmente para este fin contemplan aspectos relacionados con la situación financiera, la experiencia, la tolerancia al riesgo, el horizonte temporal y los objetivos de inversión, entre otras [9].

En concordancia con lo anterior, en Colombia las entidades reguladas por la Superintendencia Financiera utilizan un sistema de encuesta con preguntas cerradas sobre edad, plazo de inversión, experiencia en inversiones, conocimiento financiero del inversionista y tolerancia a pérdidas. Cada pregunta tiene una ponderación y, de acuerdo con las opciones de respuesta, se suman los resultados determinando el nivel de tolerancia al riesgo, según el rango en que se encuentre. Las entidades clasifican a los inversionistas en las categorías conservador, arriesgado y moderado. Algunas entidades han establecido nuevas denominaciones, siguiendo el mismo método de lógica clásica o bivalente.

Tabla 1. Esquema de encuesta perfil de riesgo tradicional del sistema financiero en Colombia

Pregunta	Opciones de respuesta (puntaje)		
Edad actual	Mayor a 55 (1)	Entre 40 y 55 años (2)	Menor a 40 años (3)
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	Definitivamente no (1)	Por un periodo de hasta un año (2)	Por un periodo de hasta 3 años (3)
Horizonte de tiempo para su inversión	Menos de 1 año (1)	1 a 5 años (2)	Más de 5 años (3)
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	Poca (1)	Media (2)	Mucha (3)
Suponiendo que su inversión se está desvalorizando en un 50%, ¿qué haría?	Retirar mi dinero (1)	Esperar (2)	Comprar más acciones (3)

Fuente: Elaboración propia a partir de [10] [12].

Cada pregunta tiene una ponderación o punto, como se muestra resaltado entre paréntesis en la Tabla 1. De acuerdo con las opciones de respuesta, se suman los puntos obtenidos y su sumatoria determina el nivel de tolerancia al riesgo entre las opciones conservador, moderado y arriesgado.

2.2 Aplicaciones de la inferencia difusa en mercados financieros

Algunos autores definen la lógica difusa como la lógica de los conceptos inexactos [13], [14], pues considera la idea de tener en cuenta variables lingüísticas que captan las propiedades de aproximación o los conceptos de imprecisión en un sistema, lo que permite que un elemento tenga valores intermedios en el grado de pertenencia a un conjunto determinado. Así, la lógica difusa es una herramienta que permite incorporar subjetividad e incertidumbre, por lo que es útil en varias áreas de estudio financiero, entre ellas la determinación de perfiles de riesgo de los inversionistas.

La inferencia difusa es un proceso en el que se obtiene nuevo conocimiento usando lógica difusa. Un sistema de inferencia difuso puede definirse como un conjunto de reglas o principios que incorpora las opiniones y experiencias de uno o varios expertos que tienen conocimiento en un tema determinado. La construcción de un sistema parte de una serie de pasos no estándar, pero que se pueden resumir en los siguientes: determinación de aquellas variables lingüísticas de entrada y la variable de salida, elaboración de las reglas difusas y defusificación [15], [16].

Entre las aplicaciones de la inferencia difusa en mercados financieros se destacan el análisis técnico en el mercado de valores a partir de reglas difusas [17], [18], el diseño de sistemas expertos para la selección de portafolios de inversión [19], [20], el análisis del riesgo de crédito [21], [22] con el fin de que dichos recursos sean invertidos a nombre de la empresa (inversionista), el análisis de la volatilidad macroeconómica [23], [24], la predicción de índices bursátiles [25] y la valoración financiera de empresas

[26], [27]. En ese sentido, la lógica difusa no contradice la modelación financiera tradicional, sino que la complementa, de forma que admite criterios aproximados en este tipo de sistemas. Sin embargo, aún no se ha aplicado en la determinación del perfil de riesgo de inversionistas.

3. MODELO PROPUESTO

A través de la lógica difusa es posible ampliar las valoraciones típicas que suelen limitarse a perfil de riesgo conservador, moderado y arriesgado. Dicha lógica, al admitir estas valoraciones subjetivas, logra incorporar otras valoraciones como “muy conservador” o “poco conservador”, donde la pertenencia a esas categorías no se basa en una lógica binaria clásica, sino que admite diferentes grados. Esto permite que los inversionistas, sin importar su heterogeneidad, se sientan identificados en un perfil de riesgo (difuso).

La Figura 1 muestra los tres perfiles de riesgo relacionados en tres conjuntos difusos, se representan mediante una función de pertenencia $f(x)$, cuyo rango es el intervalo $[0,1]$, en el que 1 significa total pertenencia del elemento (x) al conjunto, y 0 indica nula pertenencia. Por lo tanto, existen elementos que pertenecen parcialmente al conjunto y, a su vez, conjuntos diferentes que se intersectan. De esta forma, cualquier punto entre estos conjuntos tiene una pertenencia total o parcial [28].

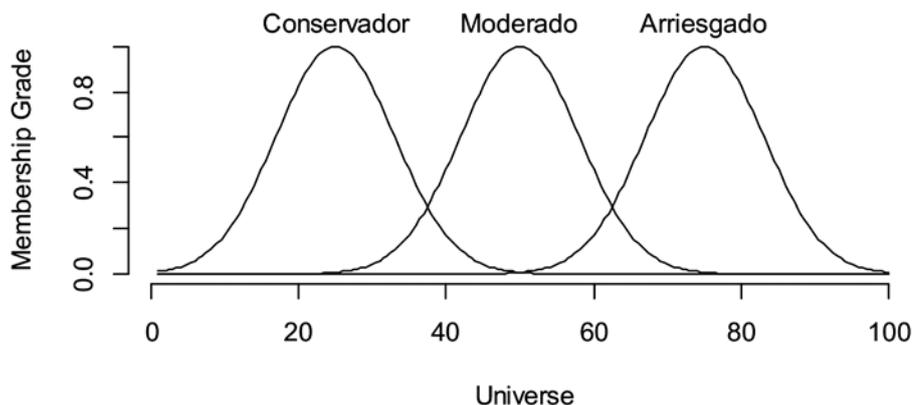


Figura 1. Aproximación difusa de los perfiles de riesgo

Fuente: Elaboración propia.

Con este modelo es posible evaluar qué tan conservador, moderado o arriesgado puede ser un inversionista, estableciendo valoraciones lingüísticas para cada una de las variables que se consideren relevantes. De esta manera, es factible incorporar múltiples características propias del individuo (aspectos internos) y la coyuntura o entorno en el que se encuentra (aspectos externos), que determinen su propensión o aversión al riesgo.

En resumen, se trata de construir un sistema de inferencia difuso, en el que las variables de entrada están dadas por aspectos como edad, tolerancia a las pérdidas, plazo de inversión, conocimiento en inversión y la percepción del crecimiento económico, mientras que la variable de salida es el perfil de riesgo. Siguiendo el método Mamdani [29], se establece un conjunto de reglas mediante el expertizaje, que mediante el proceso de defusificación permite establecer una función de pertenencia a un conjunto difuso denominado Perfil de riesgo (Figura 2).

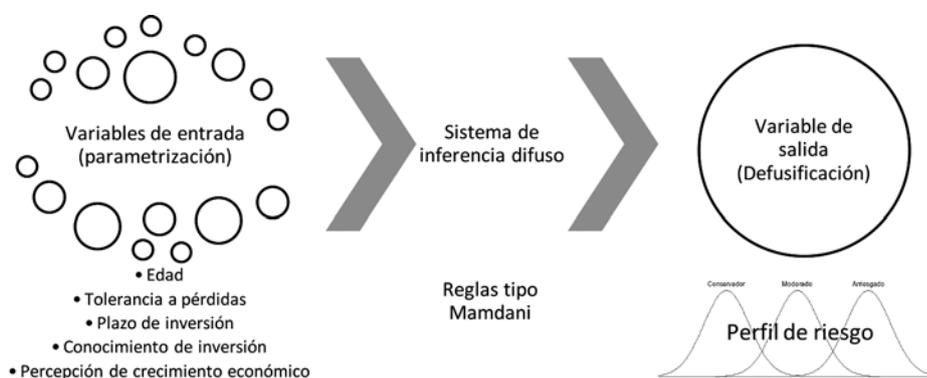


Figura 2. Sistema de inferencia difuso de Mamdani

Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

Para definir la estructura del modelo se siguió el proceso de inferencia difusa descrito: a) selección de las variables de entrada y salida, b) elaboración de las reglas difusas y c) defusificación. El proceso se programó mediante el *software* R Project, apoyado mediante la librería *fuzzySim* [30]. A continuación, se detalla cada una de estas etapas.

4.1 Variables de entrada

4.1.1 Edad

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe [31] divide a la población en cuatro grandes grupos de edad: juvenil (0 a 19 años), adultos jóvenes (20 a 39 años), adultos de mediana edad (40 a 59 años) y personas mayores (60 años y más). Con base en esta clasificación, se utilizaron conjuntos difusos de forma trapezoidal, tomando los cortes del conjunto “Joven” y “Adulto” en 40 años, “Adulto” y “Adulto Mayor” en 60 años.

- Joven: <40 años
- Adulto: entre 40 y 60 años
- Adulto mayor: >60

Los puntos de corte en la Figura 3 son 40 y 60 años, teniendo en cuenta que son los límites en los que una persona pasa gradualmente de una categoría a otra. Los cortes con el eje horizontal son una consecuencia de la trayectoria de las funciones de pertenencia de los conjuntos difusos.

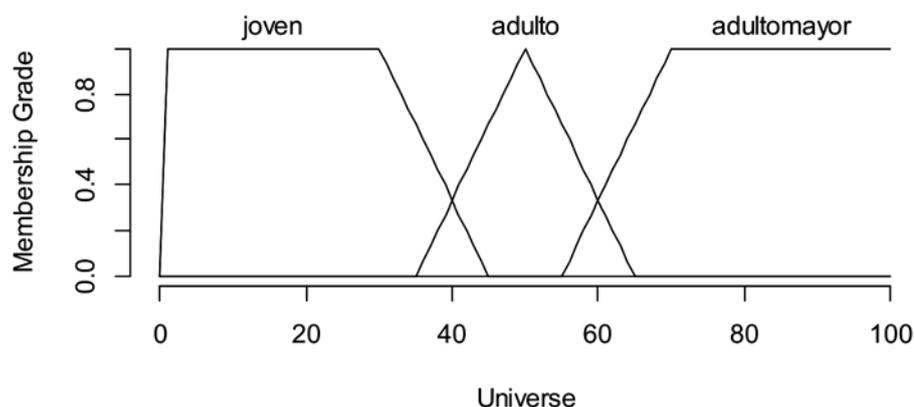


Figura 3. Conjuntos difusos para la variable edad

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Tolerancia a pérdidas

En esta variable el potencial inversionista debe dar una valoración de acuerdo con su percepción sobre lo que está dispuesto a perder en una inversión. Concretamente, la pregunta es:

*Si usted contara con \$100 para invertir en este momento,
¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo,
teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?*

Los rangos para establecer esta variable se obtuvieron a través de un proceso de consulta a expertos, que contó con el apoyo de diez profesionales financieros⁴, a quienes se les indagó de manera independiente sobre sus consideraciones individuales y establecieron los intervalos que determinaron como lógicos para las valoraciones: baja, media, alta. Los resultados de la opinión de los expertos se resumen el Anexo 2, y en esta variable en particular, se reflejan en la Figura 4 y la Tabla 2.

⁴ Los profesionales se seleccionaron teniendo en cuenta que son expertos en finanzas, cuentan con una titulación mínima de Maestría afin al área, y desempeñan un papel en el sector. Se consideran expertos en la medida en que tienen conocimiento y experiencia en este tipo de análisis, como docentes, consultores, investigadores y analistas (Anexo 1)

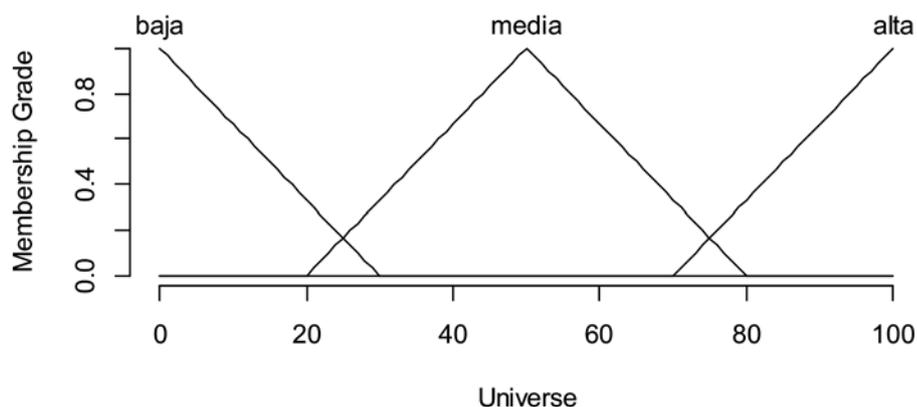


Figura 4. Conjuntos difusos para la variable tolerancia a pérdidas

Fuente: Elaboración propia.

Se estableció un universo para la variable [0-100] y se indagó a los expertos sobre la forma más adecuada de ordenarla. Con los resultados de la consulta se identificaron rangos para los conjuntos trapezoidales. Los expertos definieron que el rango y tamaño de la función fuera 50 y por simetría se encuentra que la mitad de las mismas corresponde a 25. Por esta razón, los puntos de corte de las funciones fueron 25 (corte entre “baja” y “media”) y 75 (50+25, corte entre “media” y “alta”). Los cortes con el eje horizontal (30 y 80) son resultado de la trayectoria de la función de pertenencia. Así, por ejemplo, una tolerancia a pérdida baja se encuentra entre 0 y 30, con 0 como el valor que pertenece totalmente a este nivel.

Tabla 2. Grados de pertenencia para la variable Tolerancia a pérdidas, según expertizaje

Tolerancia a pérdidas	Grados de pertenencia			
	Universe	Baja	Media	Alta
0	0	1	0	0
10	10	0,667	0	0
20	20	0,333	0	0
30	30	0	0,25	0
40	40	0	0,75	0
50	50	0	1	0
60	60	0	0,75	0
70	70	0	0,25	0
80	80	0	0	0,25
90	90	0	0	0,75
100	100	0	0	1

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Plazo de inversión

El Banco Bilbao Vizcaya Argentaria [32] y los criterios contables tradicionales en Colombia clasifican específicamente el corto plazo de 0-1 año (12 meses), mediano plazo de un año (12 meses), 5 años (60 meses) y largo plazo > 5 años (>60 meses). Por tanto, se estableció un universo de 0 a 100, cuantificado en meses y se establecieron las variables de la siguiente manera:

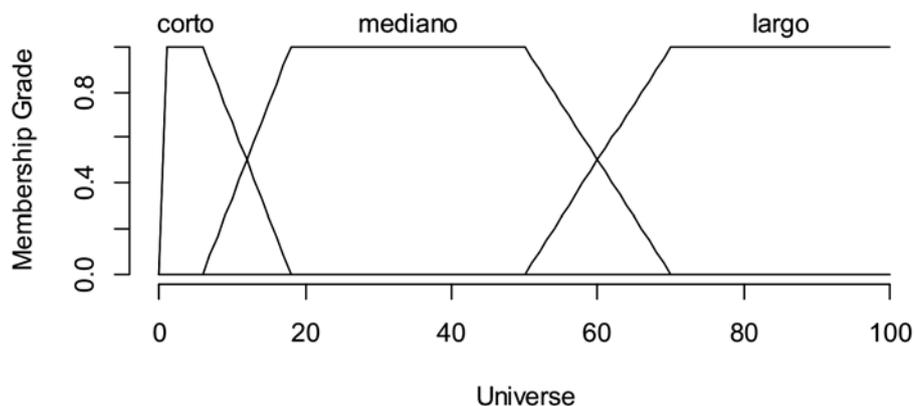


Figura 5. Conjuntos difusos para la variable Plazo de inversión

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos de corte son 12 y 60 meses, teniendo en cuenta que aquí es donde va transitando gradualmente a la siguiente categoría, según los rangos definidos con base en la información recopilada.

4.1.4 Conocimiento en inversión

Esta variable depende del nivel educativo del inversionista, su profesión, la experiencia previa en inversiones, etc. Para conocer estos aspectos se realiza la siguiente pregunta al potencial inversionista: En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones? Califíquese en esa escala.

Los rangos para establecer esta variable se obtuvieron a través de consulta con expertos, como se hizo con la variable "Tolerancia a pérdidas" (Anexo 2). Para establecer los puntos de corte de las funciones se tomó el promedio de los límites inferiores y superiores establecidos por los expertos, obteniendo las siguientes funciones trapezoidales.

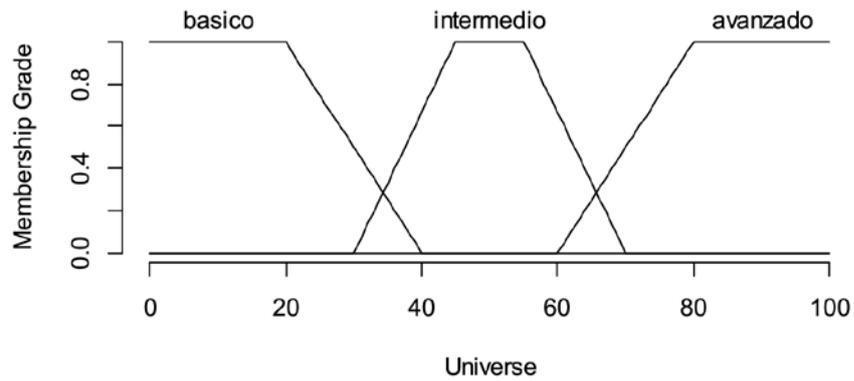


Figura 6. Conjuntos difusos para la variable Conocimiento en inversión

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Percepción de crecimiento económico

Esta variable corresponde al crecimiento de la economía y permite incorporar al sistema la percepción de crecimiento del país. Es posible parametrizar su medida preguntando directamente al potencial inversionista.

*¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva?
 ¿De 0 a 50, califique qué tan positiva o negativa es esta percepción?*

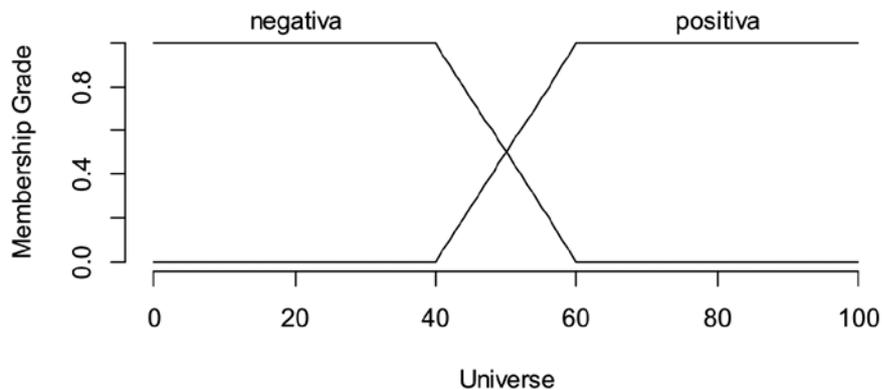


Figura 7. Conjuntos difusos para la variable Percepción de crecimiento económico

Fuente: Elaboración propia.

Si el inversionista contesta “Negativa”, se ubica en el primer conjunto (rango 0-50). Una vez el potencial inversionista conteste su calificación, se tiene el valor de esta variable de entrada para alimentar el

sistema. Si el inversionista responde que considera un crecimiento nulo (0), esto lo clasifica en el punto medio del universo (50). Si contesta “Positiva”, se ubica en el segundo conjunto (rango 50-100). Como su calificación se establece de 0 a 50 por simplicidad en la pregunta inicial, el resultado debe convertirse de forma simétrica para alimentar el sistema.

4.1.6 Variable de salida: Perfil de riesgo

Corresponde al perfil de riesgo del inversionista, según el análisis que hace el sistema de las respuestas a las variables de entrada. Las categorías son: muy conservador (M.cons), conservador (Cons), moderado (Mod), arriesgado (Arriesg) y muy arriesgado (M.arriesg).

Para obtener la variable de salida, el sistema hace una “agregación”, unificando las reglas y los valores asignados para obtener un solo conjunto difuso como resultado⁵, es decir, el “Perfil de Riesgo”. El *software* se encarga de realizar esta agregación, tomando como base el método Mamdani [29].

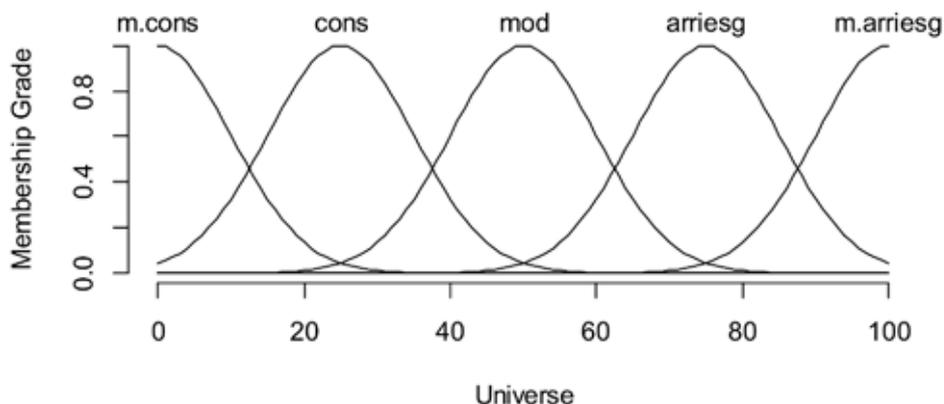


Figura 8. Conjuntos difusos para la variable de salida Perfil de riesgo

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Reglas al sistema

Al sistema se de deben dar las reglas, es decir, informarle cómo reaccionar ante cambios en las variables de entrada. Estas se llaman reglas “Si - Entonces” y son la base de conocimiento del sistema. Se basan en el conocimiento y experiencia de expertos humanos, quienes por definición contemplan diversas posiciones, lo cual determina el carácter difuso del sistema [33].

⁴ A través del proceso de agregación el sistema arroja una función normal que estadísticamente admite un grado de pertenencia mayor que cero en tres conjuntos, es decir, intersección entre tres conjuntos; sin embargo, la interpretación práctica puede limitarse a la intersección de dos conjuntos.

En la etapa anterior se definieron tres conjuntos difusos para cada una de las primeras cuatro variables y dos conjuntos en la variable “Percepción de crecimiento económico”. Por conteo estadístico se pueden dar 162 posibles combinaciones. Sin embargo, basta un conjunto reducido de reglas para la agregación y obtener un resultado para la variable Perfil de riesgo. En la Tabla 3 se presentan en detalle las reglas “Si - Entonces” definidas para el sistema, donde además se simplifican algunas que tienden a tener valoraciones en común.

Tabla 3. Reglas del sistema de inferencia difuso

Perfil	Edad	Tolerancia a las pérdidas	Plazo	Conocimiento en inversión	Percepción de crecimiento económico
Muy conservador	Joven o adulto o adulto mayor	Baja	Corto o mediano o largo	Básico	Negativa o positiva
	Joven o adulto o adulto mayor	Baja	Corto o mediano o largo	Intermedio	Negativa
Conservador	Joven o adulto o adulto mayor	Media	Corto o mediano o largo	Básico	Negativa
	Joven o adulto o adulto mayor	Media	Corto o mediano o largo	Intermedio	Negativa o positiva
Moderado	Joven o adulto o adulto mayor	Baja	Corto o mediano o largo	Avanzado	Negativa o positiva
	Joven o adulto o adulto mayor	Alta	Corto o mediano o largo	Básico	Negativa o positiva
	Joven o adulto	Media	Corto o mediano o largo	Avanzado	Positiva
Arriesgado	Joven o adulto	Alta	Corto o mediano o largo	Intermedio	Positiva
Muy arriesgado	Joven o adulto	Alta	Mediano o largo	Avanzado	Negativa o positiva

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, la Tabla 3 permite identificar: edad, “Joven”; tolerancia a pérdida, “Baja”; plazo, “Corto”; conocimiento en inversión, “Básico”; percepción de crecimiento económico, “Negativa”, entonces, perfil “Muy Conservador”. Sin embargo, otras combinaciones permiten clasificar al inversionista como “Muy Conservador”, por lo que se pueden simplificar a través del conector lógico “o”, de la siguiente manera: si edad “Joven o Adulto”, tolerancia a pérdida “Baja”, plazo “Corto”, conocimiento en inversión “Básico”, percepción de crecimiento económico “Negativa”, entonces, perfil “Muy Conservador”.

4.3 Defusificación

La inferencia difusa evalúa las variables de entrada en el marco de las reglas difusas, cuyos valores de pertenencia se computan simultáneamente para obtener conjuntos de salida difusos, a partir de los cuales se realiza una agregación, generando un nuevo conjunto de salida difuso caracterizado por un grado de pertenencia sobre la variable de salida (perfil de riesgo). Finalmente, el paso de un conjunto difuso de salida al cálculo de un valor numérico real se conoce como defusificación y se calcula como el valor esperado de la variable de salida, dentro de dicho conjunto difuso. Simplemente este es el valor más representativo del perfil de riesgo en este modelo.

Para efectos de este estudio se utilizó el método de defusificación centroide, según el cual el sistema determina el valor esperado de la variable de salida como un promedio ponderado del valor x en el conjunto difuso, que resulta en el centro del área formada por el conjunto difuso [34]. Este es el método más utilizado debido a que es más robusto a cambios de las observaciones [16]. Finalmente, el sistema está listo para arrojar resultados del perfil de riesgo de un inversionista, teniendo en cuenta las variables mencionadas y sus clasificaciones detalladas.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para probar el sistema de inferencia se aplicó a tres clientes (potenciales inversionistas), seleccionados de forma no probabilística. A continuación se mencionan los resultados de la aplicación del sistema en cada cliente y sus implicaciones.

Ciente 1

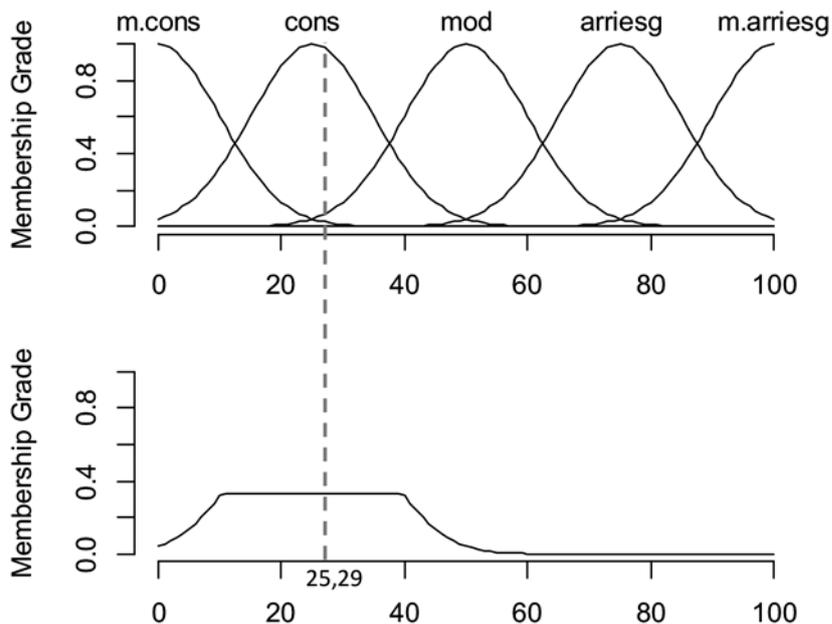
Mujer de 32 años que desea invertir su dinero con el objetivo de estudiar un doctorado en tres años (36 meses). A continuación, se comparan los resultados, teniendo en cuenta la encuesta tradicional explicada en la Tabla 1 y el sistema de inferencia difuso desarrollado.

Según la encuesta tradicional, este cliente se clasifica en un perfil moderado, mientras que la defusificación arroja un valor numérico de 25,29 (centroide), por lo que el sistema de inferencia difuso establece una mayor tendencia del cliente al perfil conservador. El conjunto difuso del cuadrante inferior muestra que el cliente presenta un grado de pertenencia de 0,35 al perfil conservador, lo que también ocurre, pero parcialmente, en el perfil moderado. Por lo tanto, este cliente, a pesar de tener cierta pertenencia al perfil moderado, prefiere que en su portafolio de inversión se incluya con menos riesgo.

Tabla 4. Resultados comparativos entre encuesta tradicional y el sistema de inferencia difuso

Encuesta tradicional		Sistema de inferencia difuso	
Pregunta	Resultado	Pregunta para variable Entrada	Resultado
Edad actual	3	Edad	32
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	2	Si usted contara con \$100 para invertir en este momento, ¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo, teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?	30
Horizonte de tiempo para su inversión	2	Plazo	36
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	2	En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones?	50
Suponiendo que su inversión de desvalorizara en un 50%, ¿qué haría?	1	¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva? De 0 a 50, califique qué tan positiva o negativa es esta percepción.	30
Σ Total de los resultados encuesta tradicional	10	Resultado sistema de inferencia difuso	25,29
Perfil de riesgo	Moderado	Perfil de riesgo	Pertenece al conjunto "Conservador" y parcialmente al conjunto "Moderado"

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9.** Resultados para cliente 1 con sistema de inferencia difuso

Fuente: Elaboración propia.

Al establecer de manera inequívoca que es cliente de perfil moderado, la encuesta tradicional llevaría a un asesor a sugerir un portafolio moderado estándar sin contemplar la tendencia conservadora del cliente y, en consecuencia, asumiendo más riesgo que el que el que desea asumir el cliente.

Cliente 2

Hombre de 57 años que busca mejorar su pensión a futuro. Su objetivo es invertir su dinero a seis años. A continuación, se realiza comparativo de resultados.

Tabla 5. Resultados comparativos entre encuesta tradicional y el sistema de inferencia difuso

Encuesta tradicional		Sistema de inferencia difuso	
Pregunta	Resultado	Pregunta para variable Entrada	Resultado
Edad actual	1	Edad	57
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	1	Si usted contara con \$100 para invertir en este momento, ¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo, teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?	0
Horizonte de tiempo para su inversión	3	Plazo	72
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	1	En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones?	0
Suponiendo que su inversión de desvalorizara en un 50%, ¿qué haría?	1	¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva? De 0 a 50 califique qué tan positiva o negativa es esta percepción.	60
∑ Total de los resultados Encuesta tradicional	7	Resultado sistema de inferencia difuso	7,67
Perfil de riesgo	Conservador	Perfil de riesgo	Pertenece al conjunto "Muy conservador" y parcialmente al conjunto "Conservador".

Fuente: Elaboración del autor.

Según la encuesta tradicional, este cliente está clasificado como conservador. Sin embargo, algunos portafolios conservadores en el sistema financiero tienen una pequeña composición de riesgo que podría desvalorizar el portafolio más de lo que admitiría un cliente de estas características. Como se evidencia en la Figura 10, el sistema de inferencia difuso muestra que este cliente tiene una alta pertenencia al conjunto muy conservador; por lo tanto, no toleraría una posible desvalorización en su portafolio.

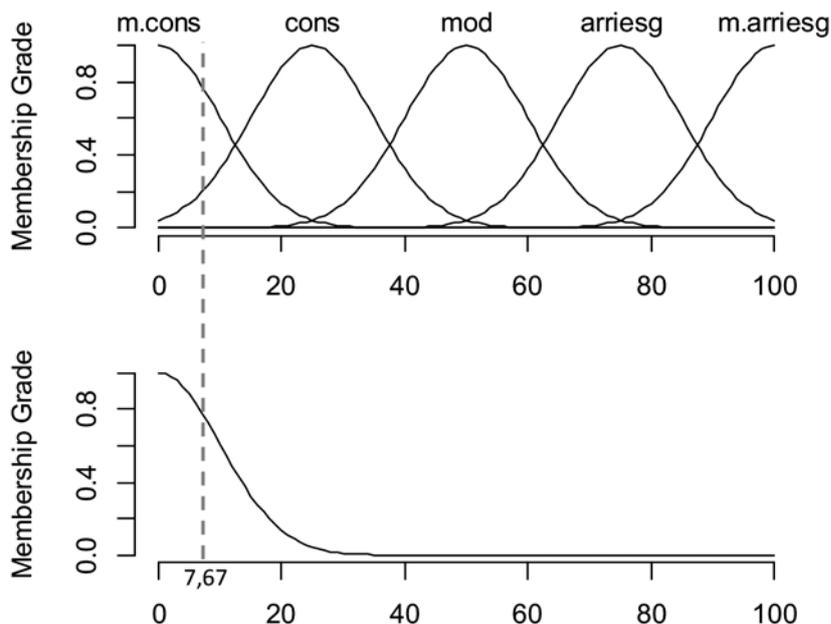


Figura 10. Resultados para cliente 2 con sistema de inferencia difuso

Fuente: Elaboración propia.

En este cliente existe una alta pertenencia (0,8) al conjunto muy conservador y una menor pertenencia al conjunto conservador. En tal sentido, debe sugerirse al cliente inversiones en depósitos a la vista, como Certificados de Depósito a Término (CDT), cuyo riesgo de desvalorización es mínimo.

Cliente 3

Hombre de 24 años, recién graduado, que ahorra para su postgrado y tiene un plazo de aproximadamente 50 meses para su objetivo de inversión.

Este cliente corresponde a un perfil arriesgado, según la encuesta tradicional, lo cual se corrobora el análisis del sistema de inferencia difuso. Se trata de un cliente que puede tolerar bastante riesgo. Según sus características, es capaz de evaluar bajo su propio criterio, pues cuenta con amplio conocimiento en inversiones. La Figura 11 refleja el hecho de que este cliente es uno de los más arriesgados, por lo que estaría dispuesto a asumir mayores riesgos que un individuo arriesgado promedio.

Tabla 6. Resultados comparativos entre encuesta tradicional y sistema de inferencia difuso

Encuesta tradicional		Sistema de inferencia difuso	
Pregunta	Resultado	Pregunta para variable Entrada	Resultado
Edad actual	3	Edad	24
¿Estaría dispuesto a aceptar temporalmente una pérdida nominal acumulada por alcanzar su rentabilidad esperada?	3	Si usted contara con \$100 para invertir en este momento, ¿cuánto estaría dispuesto a arriesgar con el fin de alcanzar su ganancia objetivo, teniendo en cuenta que esa cantidad puede perderse?	80
Horizonte de tiempo para su inversión	2	Plazo	50
¿Cómo clasifica su experiencia en inversiones?	3	En una escala de 0 a 100, ¿cuánto conocimiento considera que tiene en inversiones?	90
Suponiendo que su inversión de desvalorizara en un 50%, ¿qué haría?	3	¿Su percepción actual sobre la economía es negativa o positiva? De 0 a 50, califique qué tan positiva o negativa es esta percepción.	40
Σ Total de los resultados Encuesta tradicional	14	Resultado sistema de inferencia difuso	89,78
Perfil de riesgo	Arriesgado	Perfil de riesgo	Pertenece parcialmente al conjunto "Arriesgado y Muy arriesgado"

Fuente: Elaboración propia.

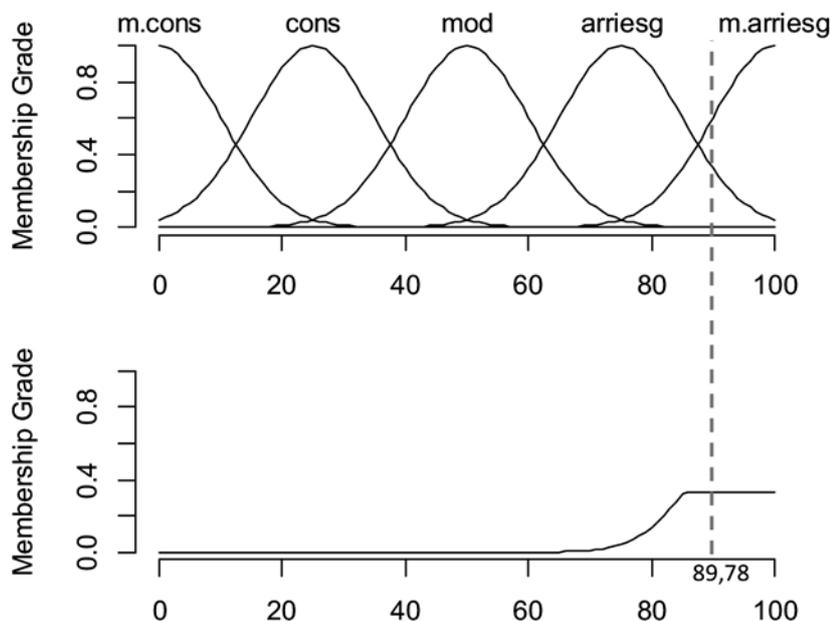


Figura 11. Resultados para cliente 3 con sistema de inferencia difuso

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

Este documento describe la forma como actualmente se suelen determinar los perfiles de riesgo, para lo cual propone un enfoque alternativo que reconozca las particularidades de los inversionistas. Los resultados de esta investigación son ilustrativos en cuanto a las implicaciones de adoptar criterios reduccionistas en la identificación del perfil de riesgo de los inversionistas. Los criterios excesivamente simplificadores pueden llevar a asesorías equivocadas y a la toma de decisiones que no contemplan las verdaderas preferencias de los agentes.

La heterogeneidad de los individuos y la complejidad del sistema financiero requieren una permanente innovación en los procesos de clasificación de los clientes, que permita la optimización de sus portafolios. No obstante, esto no se debe limitar a modelos basados en lógica matemática tradicional, sino al reconocimiento de cualidades subjetivas y con alto grado de imprecisión, lo que requiere una mirada humana y experta. La aplicación de un sistema de inferencia difuso para determinar el perfil de riesgo de inversionistas es un mecanismo válido, mediante el cual se puede obtener más información sobre los potenciales inversionistas, ayudando a las entidades financieras, a los asesores de inversión, a los investigadores y analistas de portafolios a tomar decisiones mucho más acertadas al momento de diseñar soluciones de inversión para sus clientes. Además, cuenta con mayor amplitud en la clasificación y generación de información adicional sobre la tendencia del apetito de riesgo de los inversionistas.

El sistema de inferencia difuso es una alternativa que busca complementar los métodos actuales y los expertos desempeñan un papel importante en su desarrollo, pues su conocimiento permite determinar los parámetros del sistema, que tiene la bondad de admitir un alto número de variables de entrada, en el que se combinan aspectos externos e internos al individuo, como la “percepción de crecimiento económico”, lo que incorpora un aspecto dinámico en las preferencias. Adicionalmente, es posible incorporar otras valoraciones como “Perfil de riesgo muy conservador” o “Muy arriesgado”, con el fin de ampliar la categorización de los clientes inversionistas y que las entidades financieras puedan ajustar o diseñar nuevas soluciones de inversión para ellos.

Finalmente, cuanto más expertos enriquezcan este sistema y más información sobre los determinantes del perfil inversionista se obtenga, la precisión de los resultados será mayor. En este sentido, existe una potencial agenda de investigación que amplíe los resultados expuestos. Por ejemplo, es valioso el estudio del sistema propuesto mediante la incorporación de nuevas variables, la validación experimental y la ampliación en el número y tipo de expertos.

7. REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Hacienda y Crédito Público, *Decreto 661 del 17 de abril de 2018*. Bogotá, Colombia, 2018.

- [2] M. O. Rieger, "Why do investors buy bad financial products? Probability misestimation and preferences in financial investment decision", *J. Behav. Financ.*, vol. 13, no. 2, pp. 108–118, 2012, doi: 10.1080/15427560.2012.680991.
- [3] J. V. Sánchez, "El comportamiento del precio de las acciones t recesión económica. EEUU y México", *Rev. Latinoam. Econ.*, vol. 41, no. 160, pp. 84-107, 2010.
- [4] M. Sánchez, M. D. Oliver, and C. Sanchís, "Fuzzy logic and its uses in finance: A systematic review exploring its potential to deal with banking crises", *Mathematics*, vol. 7, no. 1091, pp. 1-22, 2019, doi: 10.3390/math7111091.
- [5] Autorregulador del mercado de valores de Colombia, "ABC del inversionista", *Educacion financiera para todos*, no. 1. p. 24, 2014.
- [6] A. Tversky and D. Kahneman, "Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty", *J. Risk Uncertain.*, vol. 5, pp. 297-323, 1992, doi: 10.1007/BF00122574.
- [7] N. Nicholson, E. Soane, M. Fenton-O'Creevy, and P. Willman, "Personality and domain-specific risk taking", *J. Risk Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 157-176, 2005, doi: 10.1080/1366987032000123856.
- [8] S. D. Gosling, P. J. Rentfrow, and W. B. Swann, "A very brief measure of the Big-Five personality domains", *J. Res. Pers.*, vol. 37, no. 6, pp. 504-528, 2003, doi: 10.1016/S0092-6566(03)00046-1.
- [9] D. De Bortoli, N. Da Costa, M. Goulart, and J. Campara, "Personality traits and investor profile analysis: A behavioral finance study", *PLoS One*, vol. 13, no. 3, pp. 1-18, 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0214062.
- [10] Fiduciaria Central, "Perfil de riesgo para inversionistas". 2016.
- [11] BTG Pactual, "Cuestionario perfil de riesgo del cliente". 2020.
- [12] Skandia, "Encuesta Perfil de Inversión del Contrato Fondo de Pensiones Voluntarias Skandia Multifund". 2019.
- [13] E. Turunen, "Connecting a tenable mathematical theory to models of fuzzy phenomena" in *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 243rd ed., Berlin: Springer, 2009.
- [14] J. A. Goguen, "The logic of inexact concepts", *Synthese*, vol. 19, no. 3-4, pp. 325-373, 1969, doi: 10.1007/BF00485654.
- [15] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part II", *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 20, no. 2, pp. 419-435, 1990, doi: 10.1109/21.52552.
- [16] A. Reveiz and C. León, "Operational Risk Management using a Fuzzy Logic Inference System", *Borradores Econ.*, no. 574, pp. 1-30, 2009.
- [17] H. Dourra and P. Siy, "Investment using technical analysis and fuzzy logic", *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 127, no. 2, pp. 221-240, 2002, doi: 10.1016/S0165-0114(01)00169-5.
- [18] A. Escobar, J. Moreno, and S. Múnera, "A technical analysis indicator based on fuzzy logic", *Electron. Notes Theor. Comput. Sci.*, 2013, doi: 10.1016/j.entcs.2013.02.003.
- [19] O. Ece and A. S. Uludag, "Applicability of Fuzzy TOPSIS Method in Optimal Portfolio Selection and an Application in BIST", *Int. J. Econ. Financ.*, vol. 9, no. 10, p. 107, 2017, doi: 10.5539/ijef.v9n10p107.

- [20] M. G. Yunusoglu and H. Selim, "A fuzzy rule based expert system for stock evaluation and portfolio construction: An application to Istanbul Stock Exchange", *Expert Syst. Appl.*, vol. 40, pp. 908-920, 2013, doi: 10.1016/j.eswa.2012.05.047.
- [21] S. Medina and O. O. Manco, "Diseño de un sistema experto difuso: evaluación de riesgo crediticio en firmas comisionistas de bolsa para el otorgamiento de recursos financieros", *Estud. Gerenciales*, vol. 23, no. 104, pp. 101-129, 2007, doi: 10.1016/s0123-5923(07)70019-0.
- [22] S. Medina and G. Paniagua, "Modelo de inferencia difuso para estudio de crédito", *DYNA*, vol. 75, no. 154, pp. 215-229, 2008.
- [23] M. Enciso, A. Andrés, and J. Campo, "Sistema de inferencia difuso para la inflación en Colombia", *Ensayos Sobre Polit. Econ.*, vol. 31, no. 71, pp. 73-84, 2013, doi: 10.1016/S0120-4483(13)70012-5.
- [24] L. Santana, "Una aplicación de la lógica difusa a la evaluación del balance de riesgos de la inflación y del crecimiento macroeconómico", *Cienc. Soc.*, vol. 38, no. 3, pp. 497-514, 2013.
- [25] A. Arango, J. Velásquez, and C. Franco, "Técnicas de lógica difusa en la predicción de índices de mercados de valores: una revisión de literatura", *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 12, no. 22, pp. 117-126, 2013, doi: 10.22395/rium.v12n22a10.
- [26] J. F. Díaz, E. Coba, and P. Navarrete, "Lógica difusa y el riesgo financiero. Una propuesta de clasificación de riesgo financiero al sector cooperativo", *Contaduría y Adm.*, vol. 62, pp. 1670-1686, 2017, doi: 10.1016/j.cya.2017.09.001.
- [27] M. D. Rojas, E. Zuluaga, and M. E. Valencia, "Sistema de inferencia difuso para la valoración de empresas", *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 13, no. 24, pp. 89-108, 2014, doi: 10.22395/rium.v13n24a6.
- [28] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", *Inf. Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [29] E. H. Mamdani, "Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis", *IEEE Trans. Comput.*, vol. 26, no. 12, pp. 1182-1191, 1977, doi: 10.1109/TC.1977.1674779.
- [30] A. M. Barbosa, "FuzzySim: applying fuzzy logic to binary similarity indices in ecology", *Methods Ecol. Evol.*, no. 6, pp. 853-858, 2015.
- [31] CEPAL, "La nueva era demográfica en América Latina y el Caribe. La hora de la igualdad según el reloj poblacional", in *Primera Reunión de la Mesa Directiva de la Conferencia Regional sobre Población y Desarrollo de América Latina y el Caribe*, 2014.
- [32] BBVA, "Corto, mediano y largo plazo: ¿cuál me conviene?", 2020. [Online]. Available: <https://www.bbva.mx/educacion-financiera/ahorro/corto-mediano-y-largo-plazo-cual-me-conviene.html>.
- [33] G. Bojadziev and M. Bojadziev, "Fuzzy Logic Control for Business, Finance, and Management", in *Advances in Fuzzy Systems: Applications and Theory*, Second., World Scientific, 2007.
- [34] J. Grajales, D. López, J. Muñoz, and R. Maldonado, "Control en cascada por métodos difusos", *Rev. EIA*, no. 8, pp. 181-193, 2007, doi: 10.24050/reia.v4i8.193.

ANEXOS

Anexo 1. Perfil de los expertos

La definición de algunas variables lingüísticas en este sistema de inferencia difuso se logró mediante las opiniones de diez expertos, cuyos nombres no se mencionan, acatando la Ley 1581 de 2012 de protección de datos personales.

#	Perfil
Experto #1	Profesional en finanzas y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Cinco años de experiencia en asesoría financiera e inversión.
Experto #2	Profesional en economía, especialista en Estadística de la Universidad Nacional de Colombia y Magíster en Ciencias Económicas. Quince años de experiencia en investigación y estudios financieros.
Experto #3	Profesional en economía y Magíster en Economía de la Universidad de los Andes. Siete años de experiencia en estudios financieros.
Experto #4	Profesional en economía, especialista en Estadística. Diez años de experiencia en análisis de mercado financiero y bancario.
Experto #5	Profesional en economía y Magíster en Economía de la Universidad Javeriana. Ocho años de experiencia en estudios financieros
Experto #6	Profesional en administración de empresas y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Quince años de experiencia como administrador de portafolios de inversión.
Experto #7	Ingeniero industrial y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. 20 años de experiencia como administrador de portafolios de inversión en el sistema financiero.
Experto #8	Contador público y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. ocho años de experiencia como administrador de portafolios de inversión en el sector financiero.
Experto #9	Administrador de empresas y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Diez años de experiencia administrando portafolios de inversión.
Experto #10	Ingeniero financiero y MBA de la Universidad Sergio Arboleda. Cinco años de experiencia en el área financiera y empresarial, asesorando portafolios de inversión.

Anexo 2. Preguntas para los parámetros de las variables “Tolerancia a las pérdidas”, “Conocimiento en inversión” y “Percepción de crecimiento económico”.

1. Según su experiencia, si tuviera que darle valoraciones de “Baja”, “Media” y “Alta” a la tolerancia a pérdidas de los inversionistas, en una escala de 0 a 100 ¿cómo la ordenaría? ¿cuál sería para usted el número que mejor representa estas tres valoraciones en esta escala?
2. Según su experiencia, si tuviera que darle valoraciones al conocimiento que demuestran los inversionistas como: “Básico”, “Intermedio” y “Avanzado” en una escala de 0 a 100 ¿cómo la ordenaría? ¿cuál sería para usted el rango lógico que mejor representaría estas tres valoraciones en esta escala?
3. ¿Considera que la tolerancia a las pérdidas de los inversionistas influye directamente en el perfil de riesgo?

4. ¿Considera que el conocimiento en inversiones influye directamente en el resultado del perfil de inversión?
5. ¿Cree usted que en un ambiente de inversión positiva para el país el inversionista puede ser más arriesgado?

Mediante estas preguntas se obtuvieron los siguientes resultados:

Preguntas	Experto										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	0-50-100	
2	Básico	0-40	0-30	0-20	0-30	0-33	0-30	0-40	0-40	0-33	0-40
	Intermedio	40-60	30-60	20-60	30-70	33-66	30-70	40-70	40-60	33-66	40-60
	Avanzado	60-100	60-100	60-100	70-100	66-100	70-100	70-100	60-100	66-100	60-100
3	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
4	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
5	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	

Fuente: Elaboración propia.