



Indicador de confianza empresarial en el sector construcción en México a través de un sistema de inferencia difuso

ORTIGOSA HERNÁNDEZ, MAURICIO

Universidad Anáhuac (México)

Correo electrónico: mauricio.ortigosa@anahuac.mx

RESUMEN

En México el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) publica mensualmente un indicador de confianza empresarial (ICE) en varios sectores económicos utilizando la Encuesta Mensual de Opinión Empresarial (EMOE). En este trabajo se hace referencia sólo al sector de la construcción por ser de los más sensibles para el crecimiento de la economía en México. La información oficial que emite el INEGI sobre el ICE para dicho sector es el resultado de la media aritmética simple de cinco indicadores de carácter cualitativo ya proyectados y ponderados. Al aplicar la media aritmética al final del proceso para obtener un indicador de tal importancia, da lugar al debate clásico de aplicar dicha estadística descriptiva en variables cualitativas medidas en preguntas tipo Likert. Para superar dicho problema, se propone llevar las etiquetas utilizadas en las opciones de respuesta de las preguntas utilizadas en el cuestionario EMOE, a variables lingüísticas donde, a través de la metodología de los sistemas de inferencia difuso, se obtiene como resultado un Indicador de Confianza Empresarial Difuso (ICED). Para validar el sistema propuesto, se calcularon desde enero del 2012 hasta febrero del 2021 los nuevos índices de confianza difusos y se compararon con las cifras oficiales emitidas por el INEGI, obteniendo resultados similares, con la ventaja de que los indicadores derivados por el sistema resultaron ser más altos o más bajos en general. Lo que permite este camino es ser más sensible ante cambios de opinión entre empresarios, evitando centralizar las opiniones al utilizar la media aritmética simple.

Palabras clave: sistema de inferencia difuso; lógica difusa; reglas difusas; variable lingüística; Mamdani; escala Likert.

Clasificación JEL: C65, L74, M31.

MSC2010: 03B52, 03B65.

Business confidence indicator in the construction sector in Mexico through a fuzzy inference system

ABSTRACT

In Mexico the National Institute of Statistic and Geography (INEGI) publishes a monthly indicator of business confidence (ICE) for various economic sectors using the Monthly Survey of Business Opinion (EMOE). In the present work reference is made only to the construction segment as it is one of the most sensitive sectors for the growth of the economy in Mexico. The official information issued by the INEGI about the ICE for this sector, is the result of the simple arithmetic mean of five qualitative indicators already projected and weighted. When applying the arithmetic mean at the end of the process to obtain an indicator of such importance, gives rise to the classic debate of applying this descriptive statistic in mean qualitative variables in Likert type questions. To overcome this problem, it is proposed to take the labels used in the answer options of the questions used in the EMOE questionnaire, to linguistic variables, where through the methodology of fuzzy inference systems, a Fuzzy Business Confidence Indicator (ICED) is obtained as a result. To validate the proposed system, the new fuzzy confidence indicators were calculated from January 2012 to February 2021 and compared to the official figures issued by the INEGI, obtaining similar results with the advantage that the indicators derived by the system, turned out to be higher or lower in general. What allows this path is to be more sensitive to changes in opinion among entrepreneurs, avoiding centralizing opinions by using the simple arithmetic mean.

Keywords: fuzzy inference system; fuzzy logic; fuzzy rules; linguistic variable; Mamdani; Likert scale.

JEL classification: C65, L74, M31.

MSC2010: 03B52, 03B65.



1. Introducción

En México, con el nuevo gobierno encabezado por Andrés Manuel López Obrador (2018-2024) del partido Movimiento de Regeneración Nacional (MORENA), a pesar de que hay varios indicadores macroeconómicos como inflación, tipo de cambio, tasa de interés, entre otros, que se encuentran dentro de márgenes estables, hay uno que mide el crecimiento económico de un país: el Producto Interno Bruto (PIB). Este indicador macroeconómico desde el inicio del nuevo gobierno ha tenido una caída que se ha acentuado por la presencia de la pandemia en el mundo ocasionada por el COVID-19. Según cifras oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía en el año 2019 el crecimiento del PIB fue del -0.1% (INEGI, 2020) y para cerrar el año 2020 se reportó una cifra del PIB del -8.5% (INEGI, 2021).

El Banco de México consulta de forma recurrente a un grupo de representantes de empresas a través de la Encuesta Mensual de Actividad Económica Regional (EMAER) y de analistas económicos mediante la Encuesta sobre las Expectativas de los Especialistas en Economía del Sector Privado. Con la información obtenida, el banco elabora un informe trimestral sobre los temas más relevantes en materia de economía en el país. En el trimestre de enero-marzo del 2019 se menciona que existen factores que pudieran obstaculizar el crecimiento económico en México; entre ellos sobresalen los problemas de inseguridad pública; incertidumbre de la política interna; aumento en precios de insumos y materia prima; incertidumbre sobre la situación económica interna y varios más (Banco de México, 2019). Sin mencionar otros elementos actualmente agravados por la pandemia.

Analistas políticos mencionan que el gobierno actual ha dado señales para marcar su hegemonía sobre la participación de la iniciativa privada en la economía de país. Ejemplo de lo anterior es la cancelación del nuevo aeropuerto internacional de México en la localidad de Texcoco en el Estado de México donde se tenía ya un avance del 30% del proyecto y fue sustituido por la adaptación de un aeropuerto militar en Santa Lucía en el mismo Estado. Otro ejemplo que muestra la posición dominante del gobierno ante la iniciativa privada se ilustra en el sector energético al dar preferencia en la producción de energía eléctrica a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) sobre las empresas privadas de ese sector que han invertido ya en México desde hace varios años. El gobierno ha mostrado una clara preferencia y apoyo presupuestal a sus proyectos emblemáticos de campaña como la construcción de la refinería de Dos Bocas en el estado de Tabasco; el tren Maya en el sureste del país, entre otros no menos importantes.

Estas acciones que el gobierno ha tenido en sus primeros años de gestión, han provocado una caída en el Indicador de Confianza Empresarial (ICE) global que abarca los siguientes cuatro sectores: manufacturero, construcción, comercio y servicios privados no financieros; todos ellos han sufrido una pérdida en el nivel de confianza. En el presente estudio se ha seleccionado el sector construcción por ser uno de los más sensibles a la economía. En una comparación anual del mes de mayo del 2020 con respecto a mayo del año anterior, en el informe del mes de julio del 2020, el valor real de la producción de las empresas constructoras reportó un descenso de -34.2% (INEGI, 2020). Para el informe del 1º de julio del 2021 el dato del ICE de ese sector se sitúa durante 32 meses consecutivos por debajo del umbral de los 50 puntos, que indica baja confianza en una escala de 0 a 100 (INEGI, 2021).

Se menciona que hay una relación muy estrecha entre la confianza y las variables macroeconómicas (Demirel & Artan, 2017). De esta forma si los inversionistas perciben altos niveles de confianza en un país, hay más posibilidades que decidan invertir a largo plazo. Siegrist et al. (2005), han probado que si hay confianza y la incertidumbre es baja, entonces hay una percepción de menor riesgo. Nezinský y Baláz (2016) han estudiado que la confianza es uno de los indicadores principales para pronosticar la economía.

Si la confianza es un elemento central que se relaciona con variables macroeconómicas, entonces medirla es una tarea que todo gobierno debe realizar. En México el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), a través de la Encuesta Mensual de Opinión Empresarial (EMOE), desde el año 2004 genera indicadores mensuales de carácter cualitativo sobre la tendencia y nivel de confianza a partir de opiniones de dirigentes empresariales en los cuatro sectores antes mencionados (EMOE, 2109).

Al medir o construir un indicador de confianza en México, implica una dosis de incertidumbre asociada con la ambigüedad o subjetividad que tienen los datos recabados por el INEGI para esos fines. Lo anterior ofrece un campo fértil para explorar y utilizar instrumentos que pertenecen a la lógica difusa. Cabe aclarar que un indicador es una medición en términos absolutos en relación al fenómeno a medir, y un índice hace referencia a una razón de cambio entre una fecha determinada con respecto a una fecha base.

El INEGI cada mes publica un ICE para cada uno de los cuatro sectores (manufacturero, construcción, comercio y servicios privados no financieros) y un ICE global como promedio de todos ellos. En el sector construcción, el procedimiento que utiliza el organismo para obtener dicho indicador, es a través de la información recabada por la encuesta EMOE donde a partir de la medición de cinco variables cualitativas (indicadores simples) se construye dicho indicador. Estas variables son medidas a través de preguntas con escalas numéricas tipo Likert bipolares con igual número de alternativas negativas y positivas (Likert 1932, citado en Willits et al., 2016), esto da lugar a uno de los debates clásicos sobre si dichas variables están medidas en escala ordinal o de intervalo (Jamieson, 2004), ya que de eso depende el tratamiento y análisis estadístico que sea oportuno.

Ante este debate se han buscado alternativas para tratar de mitigar esta controversia. Uno de los caminos ha sido incorporar los subconjuntos difusos y la lógica difusa para transformar las categorías o etiquetas de la escala de Likert a variables lingüísticas. En este caso se pondrá a prueba, sólo en el sector de la construcción, una metodología que permita por este camino obtener un indicador de confianza empresarial similar al actual, pero sin utilizar las herramientas estadísticas tales como la media aritmética.

Lo anterior se realiza a través de la metodología de los sistemas de inferencia difusos. Es decir, se diseña para cada una de las cinco variables que mide la encuesta EMOE, una variable lingüística cuyos valores son palabras del lenguaje natural acompañadas de las funciones de membresía. Además, para operar el sistema es necesario el desarrollo de un conjunto de reglas difusas para poner a prueba la lógica difusa estableciendo relaciones del tipo SI<antecedente>ENTONCES<consecuente>, lo que permite por estos mecanismos de inferencia procesar razonamientos semejantes a los realizados por el hombre y así obtener un valor nítido o numérico (crisp) como resultado del sistema. Dicho número es el indicador de confianza difuso propuesto en el presente trabajo.

El artículo ha quedado estructurado de la siguiente manera. En el segundo epígrafe se describe una revisión de la literatura sobre el tema de confianza empresarial y la escala de Likert como instrumento de medición que permitan sustentar el presente trabajo. En el tercer apartado se describe la idea central de la lógica difusa junto con algunos elementos necesarios para comprender así los sistemas de inferencia difusos, incluyendo una muestra de algunas aplicaciones sobre dichos sistemas en diversas áreas de las ciencias sociales. En la cuarta sección se desarrolla la propuesta del sistema para obtener los indicadores de confianza empresarial en el sector de la construcción en México. En el quinto apartado se presenta la aplicación y los resultados del sistema descrito. Al término del documento, se exponen algunas conclusiones de interés.

2. Revisión de la literatura

2.1. Confianza empresarial

En las ciencias sociales los indicadores predominantes para medir el crecimiento económico han sido el Producto Interno Bruto (PIB) o bien el Producto Nacional Bruto (PNB). Phélan (2011) afirma que: “la visión economicista del desarrollo plantea que los países son más o menos desarrollados en la medida en que el PIB o el PNB fuesen más altos” (p.72). A pesar de la utilidad que siguen teniendo estos criterios para el crecimiento económico, la mayor crítica reside en el hecho de que un simple número no refleja la composición de los ingresos ni los beneficios que tiene la gente (Phélan, 2011).

Por esta razón, a lo largo de las últimas décadas se ha trabajado en diversos indicadores e índices sobre desarrollo y bienestar cuya fuente de información son las familias o las empresas.

La literatura revisada se ha circunscrito al indicador de confianza empresarial que es el tema central del presente trabajo. Siegrist et al. (2005) han mostrado que si hay confianza y si la incertidumbre es baja, entonces hay una percepción de menor riesgo lo que incentiva a los empresarios a mayor inversión. Diversos estudios han demostrado que la confianza es un buen criterio para pronosticar la economía e incluso sus ciclos (Bandiera, 2002; Demirel & Artan, 2017; Kleynhans & Coetzee, 2021; Nezinský & Baláz, 2016).

De Lucio y Valero (2009) afirman que: “por los plazos más breves, tanto en el cálculo como en la difusión, la disponibilidad de los indicadores de confianza es mucho más rápida que la de otras variables” (p.14). Kleynhans y Coetzee (2021) expresan que en el caso de Sudáfrica se publican las cifras del PIB con mucha demora e incluso no se publican en absoluto, lo que permite en esta situación utilizar el indicador de confianza empresarial como una variable proxy para pronosticar el ritmo de crecimiento en algunas regiones del país.

Santero y Westerlund (1996) mencionan que los indicadores de confianza tanto de consumidores como empresariales, proporcionan información valiosa para evaluar la posición económica y pronosticar el comportamiento de la producción. “A nivel práctico la confianza no se puede observar ni medir directamente. Por lo tanto, cualquier estimación de la misma debe ser a través de indicadores que con frecuencia son parciales, cualitativos y sujetos a varias interpretaciones” (Santero & Westerlund, 1996, p.5). Lo anterior significa que las respuestas en los cuestionarios están cargadas de subjetividad, pero tienen la ventaja de estar disponibles más fácilmente y con mayor frecuencia que los datos económicos tradicionales como el PIB entre otros. Es importante aclarar que ningún índice o indicador puede ser perfecto porque la realidad es muy compleja y está compuesta por múltiples dimensiones para ser capturadas en un solo número (Phélan, 2011).

Los y Ocheretin (2019) afirman que el indicador de confianza: “es la base para el seguimiento de los ciclos de la dinámica económica y el análisis del clima empresarial del país” (p.1). Si se tiene en cuenta que la confianza empresarial es un indicador que anticipa la situación venidera ya que contempla expectativas o percepciones a futuro por parte de los empresarios, es también un buen criterio para predecir el crecimiento de las inversiones o bien la caída de las mismas (Khan & Upadhayaya, 2020; Los y Ocheretin, 2019). La confianza empresarial funciona como una señal poderosa para el crecimiento futuro de la economía de un país (Adekoya & Oliyide, 2021)

En la literatura se identifican dos metodologías que son referencia para construir los llamados indicadores líderes compuestos regionales, que se han popularizado en el mundo desarrollado y se han convertido en una referencia para los agentes privados y públicos (Gallardo & Pedersen, 2007). El objetivo de dichos indicadores es anticipar los movimientos y ciclos económicos de países o regiones, donde los indicadores de confianza empresarial son tan sólo un componente más entre otros.

Para la región de Europa está el Indicador de Sentimientos Económicos (ISE) de la Comisión Europea (CE) (Gallardo & Pedersen, 2007). Este indicador consiste en un conjunto de encuestas de confianza de consumidores y de empresas en varios sectores tales como la industria manufacturera, construcción, comercio minorista y servicios. Las encuestas se caracterizan por su alta frecuencia (mensual o trimestral) y su carácter cualitativo. Cada país de la zona europea aplica sus propias encuestas a través de los institutos de estadística que tenga cada gobierno, pero los agregados son calculados directamente por la CE.

La segunda metodología es la utilizada para el Sistema de Indicadores Líderes Compuestos (SILC) por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (Gallardo & Pedersen, 2007). En este contexto y con apoyo de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) se llevó a cabo un proyecto llamado Red de Diálogo Macroeconómico (REDIMA) financiado por la Comisión Europea cuya finalidad era impulsar y promover en América Latina y el Caribe las

mejores prácticas internacionales en materia de encuestas de opinión empresarial. Con esto se brinda indicaciones básicas para aquellos países de la región que deseen implantar dichas encuestas o mejorar las ya existentes. Para ello, se llevaron a cabo una serie de talleres internacionales desde el año 2001 hasta el cierre en el año 2007 (Gallardo & Pedersen, 2008).

Cada país ha adoptado en la medida de lo posible las mejores prácticas sobre la aplicación de encuestas a empresarios para medir la confianza. La mayoría de ellas tienen como responsable a los bancos centrales o a los institutos de estadística, siguiendo los lineamientos generales de la CE para países de esa zona geográfica o en el caso de América se utilizan las mejores prácticas internacionales inspiradas en la OCDE y la CEPAL.

A manera de ejemplo para Italia, el indicador de confianza empresarial (ICE) se expresa como la media aritmética de las respuestas a varias preguntas cualitativas de opinión sobre la economía y las expectativas sobre la evolución de empleo (Carnazza & Parigi, 2003). En España las Cámaras de Comercio y otros organismos privados o de gobierno, ya levantaban este tipo de encuestas sobre la actividad económica en varios sectores. No obstante, se decidió en 2003 que a partir de ese momento se elabore de forma más rigurosa un ICE de periodicidad trimestral donde participan una muestra de empresas de diversos sectores como el industrial, construcción, comercio, hotelería y resto de servicios. El cálculo final del ICE se obtiene también con la media aritmética de varios indicadores como son la cifra de negocio, empleo e inversión (De Lucio & Valero, 2009).

En el caso de México, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) publica mensualmente un ICE para cada uno de los sectores Manufacturero, Comercio, Construcción y Servicios Privados no Financieros utilizando la media aritmética a las respuestas a cinco preguntas cualitativas una vez ponderadas y proyectadas (EMOE, 2019). Finalmente, el INEGI publica el primer día de cada mes los resultados de los sectores mencionados del mes anterior.

Teniendo en cuenta la literatura consultada, se ha observado que hay algunos elementos en común en el proceso para obtener un indicador de confianza empresarial. Uno de esos componentes es la aplicación de cuestionarios a una muestra de empresarios; dichos instrumentos se caracterizan por tener preguntas cuyo objetivo es medir variables cualitativas. Si bien no todos los países utilizan las mismas preguntas, se puede decir que la constante es que las respuestas son graduales y unidireccionales al tratar de medir opiniones, percepciones o actitudes. Lo anterior significa que hay opciones negativas, una neutra y otras positivas; a este tipo de preguntas se les conoce como escalas de Likert.

2.2. Escala de Likert

La escala mencionada fue propuesta en su forma original en 1932 como disertación doctoral de Renis Likert en psicología por la Universidad de Columbia, a la respuesta bipolar de cinco puntos para medir actitudes, opiniones y percepciones donde hay dos opciones favorables, dos desfavorables y una neutra (Likert 1932, citado en Willits et al., 2016). La propuesta inicial del autor era que cada sujeto exprese el nivel de acuerdo o desacuerdo para cada pregunta dentro de un conjunto de interrogantes (ítems) que tengan relación con el tema de interés. En su origen las cinco categorías o etiquetas de una escala de Likert son: {muy de acuerdo, de acuerdo, ni de acuerdo ni en desacuerdo, en desacuerdo y muy en desacuerdo} y tienen asociadas una escala numérica del 1 al 5. Es necesario aclarar que con el tiempo no todas las etiquetas están vinculadas con el acuerdo o desacuerdo, no obstante, es frecuente que se les denomine escalas 'tipo Likert' por generalización (Nader et al., 2015 citado en Matas, 2018).

A pesar de que la escala de Likert se ha adoptado ampliamente en todas las comunidades de investigación en ciencias sociales, el método no ha estado exento de controversias y debates en la comunidad científica debido a la polémica sobre el número de categorías (etiquetas) en la respuesta, la semántica de cada una de ellas, la escala numérica utilizada, el tipo de respuesta intermedia, pero sobre todo el significado y el uso al sintetizar toda la información en un solo dato para medir la actitud (Willits et al., 2016). Lo anterior ha generado una gran variedad de versiones de escalas de Likert que han sido estudiadas y publicadas por académicos a lo largo de varias décadas.

A mediados del siglo pasado, Stevens (1946) desarrolló una teoría sobre las escalas de medición en forma jerárquica identificando las cuatro escalas que hoy se conocen: nominal, ordinal, intervalo y razón. El mismo autor determina que el tipo de medición establece los procedimientos o herramientas estadísticas permitidas con fines analíticos.

Stevens (1946) al establecer su teoría menciona que una diferencia básica entre las escalas ordinal e intervalo es que en la primera las etiquetas o categorías no guardan la misma distancia entre ellas, en cambio en la segunda se conserva una misma distancia entre dos categorías consecutivas. Lo anterior ha permitido establecer ese criterio para considerar la medición como de intervalo utilizando de 3 a 7 valores numéricos regularmente.

Willits et al. (2016) afirma que:

Siguiendo los dictados de Stevens, ambas la escala numérica de Likert y las categorías tipo Likert constituyen una escala ordinal (no de intervalo); y no cumplen el supuesto de normalidad y homocedasticidad, descartando así el uso de la estadística paramétrica. (p.7)

Este resultado ha ocasionado debate y controversia entre investigadores. Joshi et al. (2015) mencionan que se puede identificar dos escuelas de pensamiento: la primera escuela está formada por investigadores y especialistas en estadística que considera la escala de Likert como escala ordinal (Chimi & Russell, 2009; Hodge & Gillespie, 2003; Mazurek et al., 2021; Willits et al., 2016) lo que impide el uso de la aritmética tradicional (suma, resta, multiplicación y división) y mucho menos las estadísticas clásicas tales como la media aritmética y la desviación estándar (Clegg, 1998 citado en Vonglao, 2017).

A manera de ejemplo, Mazurek et al. (2021) realizaron una investigación en la República Checa, Ecuador y Francia para ver si las etiquetas en preguntas de tipo Likert conservan la misma distancia entre dos alternativas consecutivas (equidistantes). El resultado del estudio indica que dichas etiquetas no son equidistantes lo que implica una medición ordinal.

Joshi et al. (2015) citan a la segunda escuela de pensamiento como aquella que considera la escala de Likert como intervalo. Esta corriente se caracteriza por interpretar que lo importante es obtener una puntuación numérica compuesta utilizando todas las categorías (o etiquetas) para un individuo, más que el análisis separado de una sola categoría obtenida de la respuesta de todos los individuos. Bajo esta óptica la puntuación compuesta de un conjunto de diferentes participantes se considera como escala de intervalo, dichos valores numéricos permiten el uso de la media y la desviación estándar entre otros estadísticos (Joshi et al., 2015).

Ante el clásico debate de la escala de Likert si es ordinal o de intervalo, entre otros problemas inherentes a ella, se han propuesto caminos alternativos para medir actitudes. Uno de ellos es aumentar la escala numérica a diez u once valores. Wu y Leung (2017) han mostrado que al aumentar las alternativas de respuesta, la escala se aproxima a una medición de intervalo o a una variable cuasi continua (Chimi & Russell, 2009), aunque existe mayor dificultad para los respondientes en identificar su sentimiento genuino en ese nivel de detalle (Vonglao, 2017).

Una crítica a la escala de Likert hecha por Jamieson (2004) indica que por naturaleza la escala es ordinal y no es correcto utilizar técnicas estadísticas tales como la media o desviación estándar entre muchas otras herramientas para ese nivel de medición. El mismo autor en su comentario menciona que esos principios son ignorados con frecuencia por muchos autores de diversas disciplinas.

Hesketh et al. (1988) en el ámbito de la psicología, ante el problema de estudiar si los puntajes de las pruebas psicológicas son una función de diferencias individuales genuinas o de diferencias impuestas (u obscurecidas) por las limitaciones de los procedimientos de medición. Los autores incorporan la teoría de los conjuntos difusos ya que ésta toma en cuenta la realidad de la imprecisión del pensamiento humano permitiendo rangos de puntaje que pueden ser medidos y traducidos en un

solo puntaje. Por otro lado, la escala de clasificación gráfica difusa, propuesta por los autores, permite abordar de manera directa las nociones de rangos dentro del dominio de medición de actitud.

Este tipo de estudios que han incorporado la teoría de los conjuntos difusos incluyendo la lógica difusa en la medición de actitudes, ha despertado el interés de estudiar la escala de Likert bajo esa óptica. Lalla et al. (2005) en un estudio para medir la actividad docente para el Ministerio de Educación de Italia, comparan dos instrumentos de medición: un cuestionario con escalas y etiquetas tipo Likert y el otro utilizando las mismas etiquetas de Likert como variables lingüísticas en un sistema difuso. El experimento mostró que, si bien los resultados son similares, el sistema arrojó puntajes que resultaron ser generalmente más altos o más bajos que los obtenidos usando el cuestionario con la escala Likert. En otro estudio hecho por Martínez et al. (2012) mostraron que para obtener resultados similares o no entre ambos instrumentos de medición, el tema o asunto que se interroga es un factor determinante para ello.

Las etiquetas de las escalas de Likert tratadas como variables lingüísticas se han ido estudiando a tal grado que Li (2013) ha perfeccionado una escala de Likert difusa donde además de permitir una posición parcial entre las etiquetas de la escala original, el autor incorpora un modelo de consenso que permite una reducción en la distorsión o pérdida de información.

Esta muestra de trabajos donde están presentes los conjuntos y la lógica difusa para medir actitudes, anima a probar una manera diferente de obtener un indicador de confianza empresarial a través de la metodología de los sistemas de inferencia difusos, utilizando las etiquetas de las escalas tipo Likert que actualmente utiliza el INEGI, ahora como variables lingüísticas. Para ello, es necesario presentar algunas ideas básicas de la lógica difusa con algunos elementos necesarios para comprender los sistemas de inferencia difusos en los siguientes epígrafes.

3. Una aproximación a la Lógica difusa

El origen de la lógica difusa se remonta a los años sesenta, donde el Profesor Lotfi A. Zadeh investigador de Ingeniería en la Universidad de California, en 1965 publica su primer artículo sobre lógica difusa titulado “Fuzzy Sets” en la revista *Information and Control*, donde da a conocer sus primeros avances sobre este tema (D’Negri & De Vito, 2006).

La lógica difusa es una extensión de la lógica clásica en contextos donde existe imprecisión o información incompleta. La lógica clásica junto con sus sistemas de inferencia se basan en enunciados donde sólo hay dos posibilidades: falso o verdadero (o bien ceros y unos). En términos de conjuntos clásicos, un objeto o persona, pertenece o no pertenece a un conjunto. Por el contrario, la lógica difusa, se basa en la idea de que el objeto o persona pertenece siempre al conjunto en un cierto grado, medido dentro de un continuo entre cero y uno (Zadeh, 1965).

Lo anterior ha permitido desarrollar el llamado razonamiento aproximado, ya que la lógica difusa y los sistemas de inferencia que también son difusos, permiten a las máquinas procesar razonamientos mucho más cercanos a los realizados por el hombre.

Flores y Camarena (2013) afirman que “la lógica difusa se basa en el concepto de relatividad de lo observado” (p.235). Es una herramienta que permite realizar análisis en escenarios de incertidumbre e imprecisión, cuyo principal potencial se ubica en la polivalencia y gradualidad (Flores & Salas, 2015).

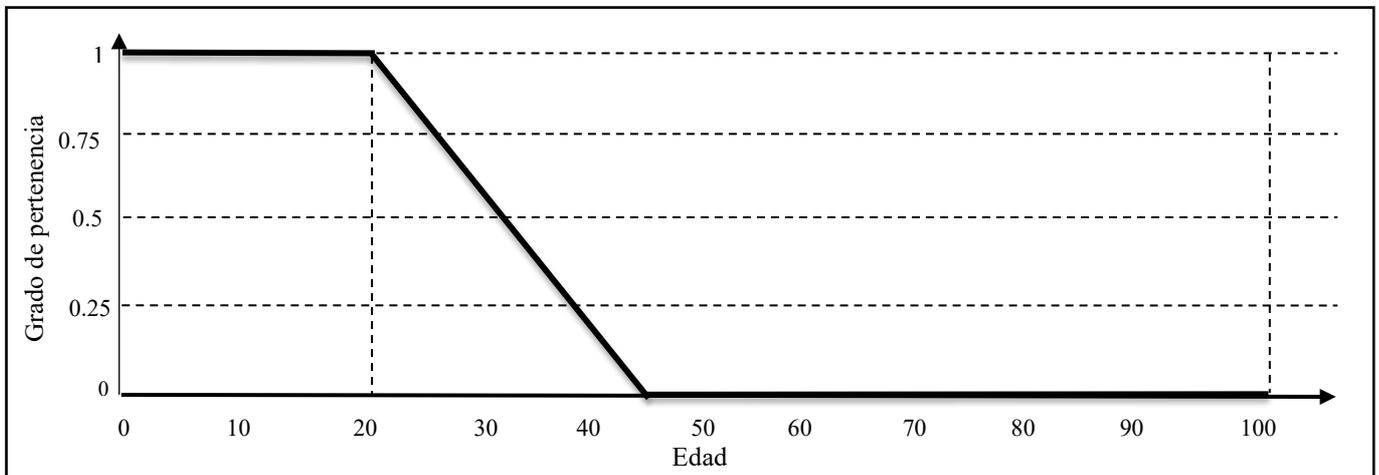
El adjetivo ‘difuso’ se debe a que los valores de verdad, no son deterministas producto de la relación causa-efecto, por tanto, tiene una connotación de incertidumbre; dicho término está relacionado con valoraciones lingüísticas o frases utilizadas en el lenguaje cotidiano (Enciso et al., 2013). En las siguientes líneas se presentan de forma básica algunos elementos de la lógica difusa.

3.1. Conjuntos difusos y variables lingüísticas

Para comprender el sistema de inferencia difuso de este documento, es necesario tener claros los conceptos de conjunto difuso y variable lingüística.

Zadeh (1965) propone la noción de conjunto difuso basado en la idea de que un elemento forma parte de un conjunto con un determinado grado de pertenencia. Como ejemplo, en la Figura 1 se muestra un conjunto difuso definido como: gente joven, siendo aquella no mayor a 20 años. De esta forma se puede ir dando niveles de pertenencia a toda persona. Si el individuo tiene menos de 20 años, tiene un nivel de pertenencia a ese grupo de 1, si la persona tiene más de 45 años tiene un nivel de pertenencia de 0. Pero si la persona tiene entre 20 y 45 años, tendrá un grado de pertenencia todavía al grupo de gente joven. Es decir, el grado de pertenencia se define mediante la función llamada de membresía o pertenencia asociada al conjunto difuso.

Figura 1. Conjunto difuso: gente joven.



Fuente: Elaboración propia.

Una expresión matemática muy común para denotar a un conjunto difuso cuando X es una colección de objetos denotados por x ($X = \{x_1, x_2, x_3, \dots\}$), es representar al conjunto difuso A en X como un conjunto de pares ordenados definidos como:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), / x \in X\}, \text{ donde } \mu_A: \rightarrow [0, 1]$$

donde X se le conoce como el universo del discurso y $\mu_A(x)$ es la función de membresía que otorga a cada elemento de X un grado de pertenencia entre cero y uno incluyendo los valores numéricos extremos. En la literatura sobre lógica difusa, es muy frecuente que a la función de membresía también reciba el nombre de función de pertenencia, por tanto, ambos términos se utilizan como sinónimos.

Los tipos más comunes de funciones de membresía son: la función Triangular, Trapezoidal, Gausiana, Sigmoideal y Generalizada de Bell (Cruz & Alarcón, 2017).

De la misma forma que los conjuntos tradicionales, en los conjuntos difusos también se tienen operaciones entre conjuntos (unión, intersección y complemento) así como una lista de propiedades (conmutativa, asociativa, distributiva, idempotencia, involución, transitiva y leyes de Morgan). Empleando estas operaciones, propiedades y modificadores tales como: 'ligeramente', 'bastante', 'muy', 'más', 'algo', entre muchos otros, se puede obtener una gran variedad de expresiones (González,

2015). Por ejemplo, siendo A el conjunto gente joven y B el conjunto gente madura, se puede derivar el conjunto C como gente no muy joven y ligeramente madura.

Zadeh (1975) menciona que, para representar el conocimiento a partir de un razonamiento aproximado, tenemos que utilizar variables lingüísticas. Una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o bien oraciones en un lenguaje natural o artificial (Zadeh, 1975).

Dichas variables se representan a través de conjuntos difusos sobre cierto dominio subyacente de naturaleza numérica. Cada conjunto difuso debe estar asociado a él una etiqueta lingüística. De esta forma, podemos establecer una diferencia elemental: si la variable es numérica, recibe valores de esa naturaleza, por ejemplo: Edad = 7, 8, 9 años, etcétera. y si la variable es lingüística, recibe valores lingüísticos, por ejemplo: Edad = Muy joven, Joven, Mediana edad, Viejo, Muy viejo.

Zadeh (1975) ha establecido que una variable lingüística queda caracterizada por una quintupla de la siguiente forma (V, T(V), X, G, M) donde:

V = es el nombre de la variable

T(V) = denota el conjunto de etiquetas o términos lingüísticos que puede tomar la variable V

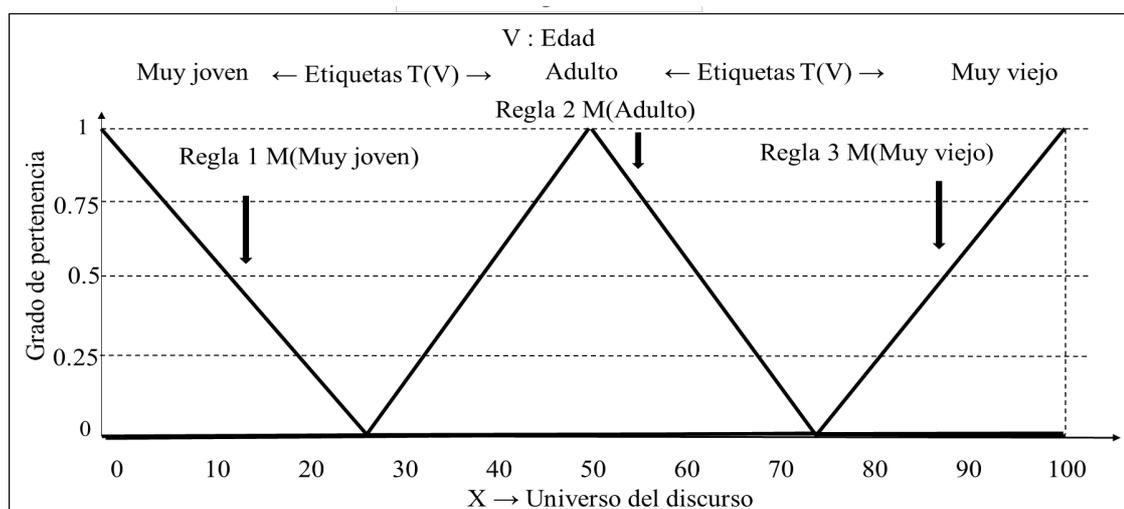
X = es el dominio subyacente o el universo del discurso de la variable V. Son todos los posibles valores numéricos que puede tomar una determinada variable.

G = es la gramática libre de contexto para generar las etiquetas de T(V). De esta forma, una etiqueta lingüística se forma como una sucesión de los símbolos terminales de la gramática. Ejemplo: “muy alto”, “no muy bajo”, “normal”, etc.

M = es una regla semántica que asocia cada término lingüístico con su significado. Cada término o etiqueta se expresa con alguna función de membresía como la triangular, la sigmoide, la gaussiana, entre muchas otras. Es decir, es una regla para cada conjunto difuso.

A manera de ejemplo, la Figura 2 muestra una variable lingüística con sus componentes:

Figura 2. Variable Lingüística Edad.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Estructura de un sistema de inferencia difuso (SID)

La aplicación más extendida de la lógica difusa y las variables lingüísticas son los sistemas de inferencia difusos (SID). Jang et al. (1997) afirma que: “un sistema de inferencia difuso es una forma de representar conocimientos y datos inexactos en forma similar a como lo hace el pensamiento humano” (citado en Medina, 2006, p.201). Estas herramientas permiten el manejo de ambigüedades e incertidumbre con un alto nivel de abstracción. En palabras sencillas un SID define una relación no lineal entre una o varias variables de entrada y una variable de salida; lo que permite tomar decisiones o definir patrones en relación al fenómeno en estudio.

Enciso et al. (2013) mencionan que dichos sistemas permiten interpretar valoraciones subjetivas, incorporando el conocimiento de uno o varios individuos que tienen amplia experiencia sobre el tema.

Los SID están conformados por tres 3 componentes esencialmente: el primero es el conjunto de variables lingüísticas de entrada, que incluye en cada una de ellas la definición de las funciones de pertenencia o membresía para cada etiqueta. A esto se le llama fuzificación.

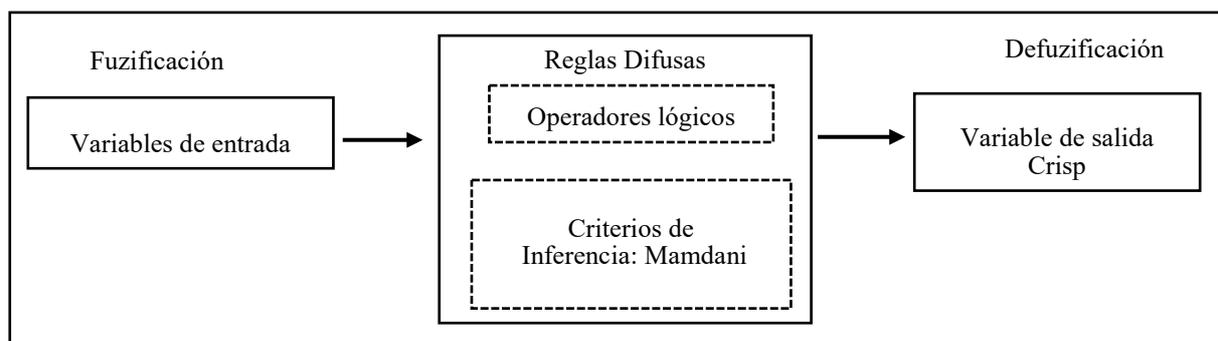
El segundo componente es la variable de salida, convirtiendo las salidas difusas a valores nítidos o numéricos (crisp), a esto se le llama defuzificación y para ello, existen varios métodos como el centroide, bisectriz, máximo central, entre otros más. El más común de todos ellos es el primero mencionado: el centroide.

Un tercer componente son las reglas difusas que permiten establecer la relación entre las variables de entrada y la variable de salida del sistema (Medina, 2006). La regla del tipo: SI<antecedente>ENTONCES<consecuente> de Mamdani propuesto por su autor Ebrahim Mamdani en 1975 es la más usada en diversos campos. Si la regla tiene varios antecedentes, entonces se aplica algún operador lógico como “OR” con la T-conorma (máximo $a \vee b$) o bien “AND” con la T-norma (mínimo $a \wedge b$), e incluso el operador complemento (\bar{a}) (Kaufmann & Gil, 1993) para obtener un único valor que represente el resultado de la evaluación del antecedente, este número (valor de verdad) se aplica al consecuente (Medina, 2006).

Mamdani (1977) muestra algunas aplicaciones de este principio que ha recibido también el nombre de razonamiento aproximado. Medina (2006) menciona que “el razonamiento aproximado es un procedimiento de inferencia usado para derivar conclusiones desde un conjunto de reglas difusas del tipo ‘si-entonces’ y los datos de entrada al sistema mediante la aplicación de relaciones de composición Max-Min o Max-producto” (p.205). Es decir, es una forma de inferir un valor difuso cuando se tienen entradas difusas.

La Figura 3 ilustra un esquema general de un sistema de inferencia difuso:

Figura 3. Sistema de inferencia difuso.



Fuente: Elaboración propia con adaptación de diversos autores.

3.3. Diversas aplicaciones de los SID a las ciencias sociales

Las primeras aplicaciones de los SID tuvieron su origen en ingeniería, disciplina a la que pertenecía el Profesor Lotfi A. Zadeh. Guzmán y Castaño (2006) mencionan que una aplicación emblemática en los orígenes de los sistemas de inferencia difusos ha sido la de Ebrahim Mamdani en 1974 al aplicar los principios de lógica difusa en el control de procesos, de esta forma desarrolla el primer controlador difuso para regular un motor de vapor.

Guzmán y Castaño (2006) mencionan que además del método de inferencia Mamdani para el control de procesos, en 1985 Takagi y Sugeno diseñaron un camino alternativo que lleva como nombre inferencia Takagi-Sugeno-Kang (TSK), esto aunado a la lógica difusa desarrollada por Zadeh, produjo numerosas aplicaciones en diversas áreas como la medicina, aeronáutica e incluso en los aparatos electrodomésticos.

Ambos métodos han sido utilizados en múltiples problemas, pero la inferencia Mamdani representa un marco mucho más natural que el TSK para la representación del conocimiento humano y por tanto ha sido el preferido en aplicaciones en las ciencias sociales en general. Prueba de ello, Medina y Paniagua (2008) desarrollaron un sistema de inferencia difuso a través del método Mamdani, para evaluar la capacidad de crédito de una persona que solicita un préstamo en una Cooperativa de Ahorro y Crédito. Esta evaluación permite conocer la solvencia del usuario como variable de salida teniendo en cuenta las 4 variables lingüísticas de entrada: capacidad de pago, aportes sociales (ingresos por acciones o inversiones que tenga la persona), antigüedad y calificación crediticia. Otro estudio semejante al anterior fue el que desarrollaron Soto y Medina (2004) para medir la solvencia financiera de empresas solicitantes de crédito.

Enciso et al. (2013) desarrollaron un sistema de inferencia difuso usando el método Mamdani, con valoraciones subjetivas que sean determinantes para estimar la inflación en Colombia. Lo anterior se llevó a cabo a partir de la teoría económica donde se determinó como variables lingüísticas de entrada: promedio ponderado de la tasa de intervención (ligada dicha tasa a la política monetaria del país), inflación al cierre de año y la tercera variable se consideró el promedio de crecimiento del producto interno bruto (PIB); la variable de salida estuvo definida como la inflación anual esperada.

En el ámbito empresarial se puede mencionar como ejemplo el trabajo realizado por Flores y Salas (2015), donde aplicando la lógica difusa, diseñan un sistema de inferencia difuso con el método Mamdani para cuantificar la calidad del empleo en México identificando marcadas diferencias en algunas variables más allá de las diferencias salariales entre el hombre y la mujer. Otro estudio aplicando los sistemas de inferencia difusos con el método Mamdani, fue elaborado por Mendoza (2009) donde muestra que la autonomía de un empleado está relacionada con su eficacia en la empresa, y a la vez ese nivel de eficacia es la causa de una futura autonomía en la empresa. Una aplicación más en el mundo de la empresa utilizando estos sistemas es el de Arango et al. (2012), en el que proponen un sistema de medición y análisis basado en el Balance Scorecard que incorpora técnicas de lógica difusa para reducir la incertidumbre en los procesos de análisis y toma de decisiones.

Lo anterior, son apenas algunos ejemplos de las decenas de aplicaciones de los sistemas SID a las ciencias sociales, en particular en la economía y empresa. Con estos antecedentes en diversas áreas, nos damos a la tarea de utilizar estas herramientas para proponer un camino que permita medir la confianza empresarial en el sector construcción en México. Por tanto, en los siguientes apartados se presenta una propuesta de un SID para obtener un indicador a dicha confianza.

4. Propuesta de un sistema de inferencia difuso para medir la confianza empresarial en el sector construcción en México.

El actual gobierno de México ha desarrollado una serie de medidas económicas que han sido toda una afrenta a los inversionistas de la iniciativa privada nacional y extranjera como la cancelación del proyecto del nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad de México, el apoyo financiero a la empresa de Petróleos Mexicanos (PEMEX) para rescatarla de la quiebra, empoderar a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), empresa del estado encargada de la producción y distribución de electricidad, poniendo en riesgo a las empresas privadas que ya han invertido en el país en el sector eléctrico, estas y otras medidas han provocado una caída en la inversión (INEGI, 2020) y una desconfianza en las reglas del juego que el gobierno establece. Por tanto, medir la confianza en el grupo de empresarios adquiere un valor de suma importancia para predecir el crecimiento económico del país.

4.1. Origen de la información: EMOE

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) a través de la Encuesta Mensual de Opinión Empresarial (EMOE) establece como objetivo:

Generar indicadores mensuales de carácter cualitativo sobre la tendencia y confianza a partir de las opiniones de los dirigentes empresariales de las unidades económicas, para conocer anticipadamente el comportamiento de la actividad económica de los sectores en estudio, contribuyendo a la toma de decisiones de todos los sectores de la sociedad. (EMOE, 2019, p.1)

La encuesta se caracteriza por ser oportuna ya que de acuerdo a su metodología los datos se captan, procesan, analizan y se generan informes que se difunden el primer día hábil del mes siguiente.

La unidad de observación de la EMOE es la empresa, definida como: “la unidad económica que bajo una sola entidad propietaria o controladora combina acciones y recursos para realizar actividades de producción de bienes, compra-venta de mercancías o prestación de servicios, sea con fines mercantiles o no” (EMOE, 2019, p.3).

EMOE utiliza el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) del año 2013 en donde una empresa puede quedar clasificada en los sectores de Construcción, Industrias Manufactureras, Comercio y Servicios Privados no Financieros.

El presente estudio ha seleccionado el sector de la construcción, debido a que es uno de los más sensibles para medir la economía del país. Al revisar las cifras oficiales que publica el INEGI obtenidas por la Encuesta Nacional de Empresas Constructoras (ENEC) para el mes de mayo 2020, comparado con el mes de mayo 2019 el valor real de la producción mostró una reducción de -34.2%, (INEGI, 2020), siendo esta caída la mayor en muchas décadas agravadas por el nuevo gobierno y la pandemia. Por otro lado, en el informe del INEGI del 1º de julio del 2021 se puede observar que la confianza empresarial en el sector construcción ha permanecido durante 32 meses consecutivos por debajo del umbral de 50 puntos que indica baja confianza en una escala de 0 a 100 (INEGI, 2021).

La encuesta del sector construcción está compuesta por varias secciones: obras ejecutadas; total de contratos y subcontratos; ingresos; materiales; inversión; personal ocupado; situación económica y finalmente observaciones y comentarios.

Para obtener el indicador de confianza de los empresarios, el INEGI toma en cuenta exclusivamente la información capturada en las secciones de inversión y situación económica. Es decir, utiliza cinco preguntas o indicadores simples para calcular un indicador compuesto de confianza empresarial en el sector de la construcción. La primera pregunta hace referencia a la inversión y las cuatro restantes a la situación económica del país y la empresa. Textualmente son las siguientes:

Pregunta 1. ¿Cree que este momento es el adecuado para que se realicen inversiones?

Pregunta 2. ¿Cómo considera usted la situación económica del país hoy en día comparada con la de hace 12 meses?

Pregunta 3. ¿Cómo considera usted que será la situación económica del país dentro de 12 meses, respecto a la actual?

Pregunta 4. ¿Cómo considera usted la situación económica de su empresa hoy en día comparada con la de hace 12 meses?

Pregunta 5. ¿Cómo considera usted que será la situación económica de su empresa dentro de 12 meses, respecto a la actual? (EMOE, 2019, p.69-70)

Cada una de las cinco preguntas anteriores tienen opciones de respuesta con ponderadores diferenciados que van de cero a uno menos la respuesta 'No sabe'. La pregunta 1 tiene tres posibles respuestas con sus ponderadores siguientes:

3 Sí	Ponderador 1
2 No	Ponderador 0
1 No sabe	No existe (en estos casos se excluyen del cálculo de ICE)

Las preguntas de la dos a la cinco tienen las siguientes posibles respuestas con sus ponderadores:

5 Mucho mejor	Ponderador 1
4 Mejor	Ponderador 0.75
3 Igual	Ponderador 0.50
2 Peor	Ponderador 0.25
1 Mucho peor	Ponderador 0.00

El INEGI a partir de la información original anterior, construye un indicador compuesto llamado Indicador de Confianza Empresarial (ICE) que se diseñó de tal forma que el valor numérico fluctúe entre 0 y 100 puntos determinando el valor de 50 como el umbral para decir si la confianza está por abajo o por arriba de dicho umbral. Para mayor detalle sobre su construcción, se puede consultar el documento metodológico EMOE (2019).

Cabe mencionar que el mismo INEGI renombra las preguntas anteriores como variables o indicadores simples con términos más cortos para mayor facilidad en su uso. Así, las preguntas anteriores quedan respectivamente renombradas con los encabezados de las últimas cinco columnas de la Tabla 1. Por ejemplo, si tomamos el dato de septiembre del 2019 publicado el 1° de octubre, el ICE del sector construcción se ubica en 49.2 (INEGI, 2019), ligeramente abajo del umbral de confianza. Con la información de dicho comunicado, en la misma Tabla 1 podemos comprobar que el valor numérico del ICE en la primera columna es la media aritmética de los cinco indicadores simples una vez proyectados y ponderados.

Tabla 1. Nivel del indicador de confianza empresarial de septiembre 2019.

Período	Indicador de Confianza Empresarial (ICE)	Momento adecuado para invertir	Situación económica presente del país	Situación económica futura del país	Situación económica presente de la empresa	Situación económica futura de la empresa
sep-19	49.2	27.3	44.0	61.8	47.9	65.1

Fuente: INEGI, comunicado de prensa núm. 477/19 del 1 de octubre del 2019.

En relación a las 5 preguntas anteriores de la encuesta EMOE para calcular el ICE en el sector construcción, la primera pregunta ‘momento adecuado para invertir’ es una variable cualitativa bipolar con 2 valores numéricos y las siguientes cuatro preguntas, definidas también por el INEGI como cualitativas, también son bipolares con 5 valores que van del 1 al 5, donde 1 es ‘Mucho peor’ y 5 es ‘Mucho mejor’, esto es una forma entre muchas de las escalas tipo Likert.

Teniendo en cuenta la literatura revisada se identificó un debate, ya que hay autores que indican que las escalas de Likert están cargadas de subjetividad y por tanto es difícil garantizar equidistancia y simetría entre las categorías o etiquetas de respuesta (Chimi & Russell, 2009; Jamieson, 2004; Mazurek, et al., 2021; Stevens, 1946; Willits et al., 2016), por tanto, se deben tratar como escalas ordinales.

La controversia o debate se presenta al observar el tratamiento estadístico que realiza el INEGI para calcular el ICE al suponer, que los cinco indicadores simples son variables cuantitativas en escala de intervalo, lo que implica actuar con precaución y cautela al momento de obtener las estadísticas tales como la misma media aritmética utilizada al final del cálculo. Para mayores detalles técnicos se puede consultar el documento metodológico EMOE (2019). Esto es un ejemplo de la segunda escuela de pensamiento que permite a la escala de Likert ser tratada como medida de intervalo (Joshi et al., 2015).

Una vez planteada la controversia o debate, en el presente estudio se propone un camino diferente para obtener un indicador que tenga un comportamiento similar al publicado por el INEGI, a través de un SID. Utilizando como datos de entrada al sistema los cinco indicadores simples que calcula el INEGI, pero ahora como variables lingüísticas, donde a través de reglas difusas y mecanismos de inferencia de la lógica difusa, es posible obtener como resultado del sistema un indicador nítido o numérico de confianza empresarial.

El período de estudio para probar el sistema de inferencia comprende desde enero del año 2012 hasta febrero del año 2021. Este espacio de tiempo incluye los 6 años del gobierno anterior del expresidente Enrique Peña Nieto del Partido Revolucionario Institucional (PRI) y algo más de los dos primeros años del actual presidente de México Andrés Manuel López Obrador del partido MORENA. En la Tabla 2 se muestra un fragmento de los 110 meses con los datos de entrada que se emplea en el SID localizados en las últimas cinco columnas.

Tabla 2. Cifras originales del indicador de confianza empresarial de las empresas constructoras y sus componentes.

Período	Indicador de Confianza Empresarial (ICE)	Momento adecuado para invertir	Situación económica presente del país	Situación económica futura del país	Situación económica presente de la empresa	Situación económica futura de la empresa
ene-12	57.2	46.1	49.7	64.2	55.3	70.9
feb-12	56.8	44.4	49.2	64.9	55.0	70.5
mar-12	57.2	45.3	49.3	66.8	54.6	70.0

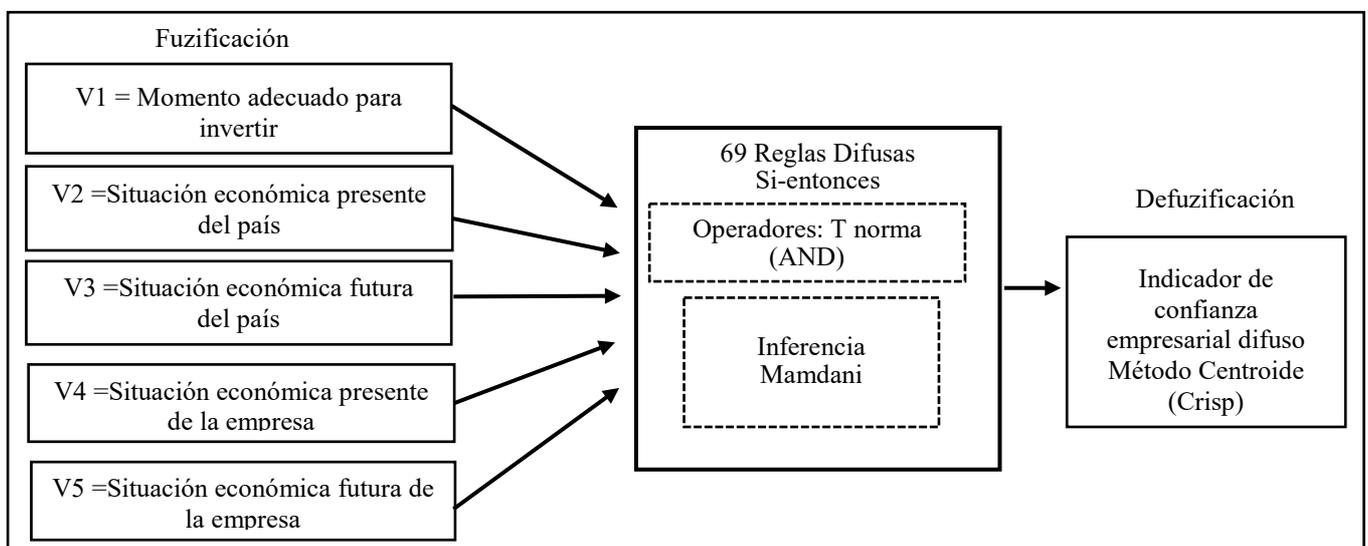
...
...
...
ene-21	43.8	21.6	31.1	58.8	43.4	63.9
feb-21	44.5	23.5	31.3	59.1	44.1	64.4

Fuente: INEGI <https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/default.html?nc=100100064>

4.2. Elementos del SID para obtener el Indicador de Confianza Empresarial Difuso

El sistema de inferencia propuesto en el presente trabajo, se ilustra en la Figura 4 con las variables de entrada y salida, y las reglas difusas que permiten operar al mismo.

Figura 4. Sistema de inferencia difuso para calcular el indicador de confianza empresarial en México.



Fuente: Elaboración propia.

Para la presentación detallada del sistema, se describe en tres etapas:

Etapas 1. Proceso de Fuzificación.

El proceso inicia con la determinación de las variables lingüísticas tanto de entrada como de salida del sistema, sus etiquetas lingüísticas y sus funciones de membresía (Medina, 2006).

1.1. Variables de entrada. En el epígrafe anterior, se había mencionado que a partir de las cinco preguntas utilizadas en la encuesta EMOE, el mismo INEGI renombra a dichas preguntas con términos más cortos para mayor facilidad en su uso. De esta forma las 5 variables de entrada quedan definidas como:

Pregunta 1 pasa a ser la V1 = Momento adecuado para invertir

Pregunta 2 pasa a ser la V2 = Situación económica presente del país

Pregunta 3 pasa a ser la V3 = Situación económica futura del país

Pregunta 4 pasa a ser la V4 = Situación económica presente de la empresa

Pregunta 5 pasa a ser la V5 = Situación económica futura de la empresa

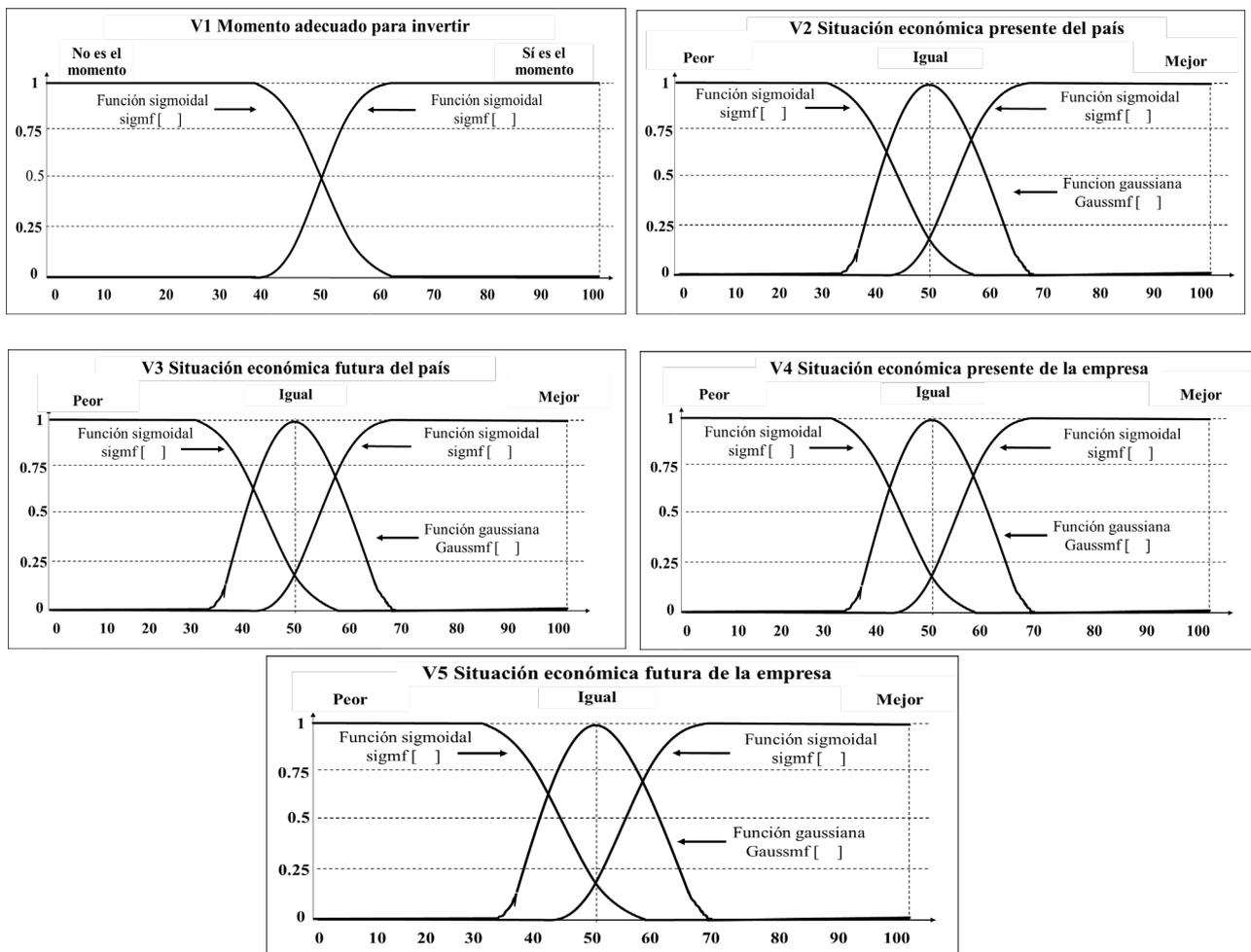
1.2. Variable de salida. Como variable de salida tenemos el indicador de confianza empresarial.

1.3. Etiquetas de las variables lingüísticas y sus funciones de membresía. Seleccionar las funciones de membresía no es una tarea fácil y requiere en muchas ocasiones la opinión de varios expertos en el tema. Cabe mencionar que antes de tener el sistema como se presenta, se realizaron varios intentos de otras funciones de membresía como Triangulares, Gamma, entre otras, junto con diferentes parámetros que se descartaron en su momento por haber obtenido resultados inconsistentes con las mediciones que publica el INEGI.

En este caso, el criterio a seguir para proponer las funciones de membresía, fue conservar una similitud entre las 5 preguntas utilizadas en el cuestionario. Recordar que la V1 es bipolar de dos puntos y las variables de V2 a la V5 están en escala de Likert de 5 puntos. Con la finalidad de ganar simplicidad, la V1 se conserva de forma bipolar ‘borrosa’ proponiendo la función sigmoideal para las dos alternativas de respuesta, y de la V2 a la V5 se conservaron de las cinco alternativas de respuesta, sólo las tres respuestas centrales; proponiendo una función gaussiana para la respuesta intermedia ‘Igual’, quedando ‘Peor’ y ‘Mejor’ también con funciones sigmoideales, eliminando los extremos de ‘Mucho peor’ y ‘Mucho mejor’.

En la Figura 5 se muestran las funciones de membresía Sigmoideales y Gaussianas que se proponen para cada una de las cinco variables de entrada al sistema. La forma gráfica de dichas funciones, corresponden a los parámetros que se definen más adelante en la Tabla 3.

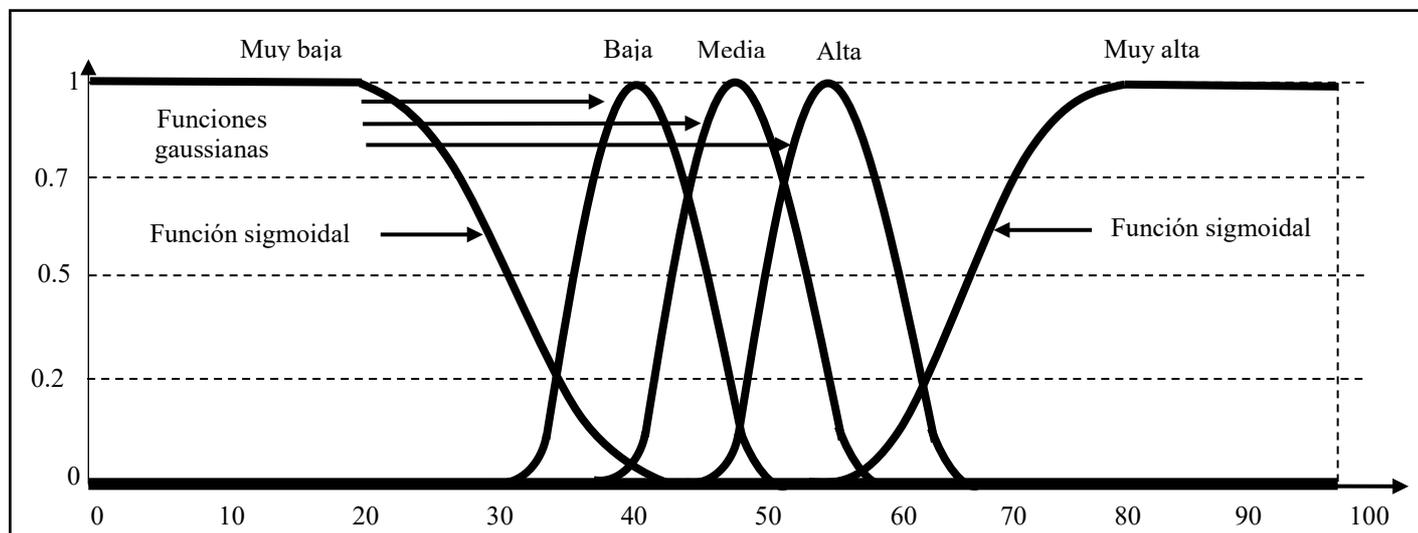
Figura 5. Funciones de membresía de las variables de entrada.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 6 muestra las funciones de membresía Sigmoidales y Gaussianas de la variable de salida del sistema para cada una de las etiquetas.

Figura 6. Funciones de membresía de la variable de salida: Indicador de confianza empresarial.



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3 se resume la definición de cada variable de entrada y salida del sistema: nombre de la variable, el universo del discurso o valores que puede tomar, las etiquetas lingüísticas y por supuesto las funciones de membresía o pertenencia para cada etiqueta con sus respectivos parámetros que determinan la forma de cada función. El software utilizado en el presente trabajo es el FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

Tabla 3. Definición de las variables del sistema de inferencia difuso.

Tipo de variable	Nombre de la variable	Universo del discurso	Etiquetas lingüísticas	Función de membresía o pertenencia. Notación utilizada de Matlab (parámetros)
Entrada	V1: Momento adecuado para invertir	[0, 100]	No es momento	sigmf [-0.3 50]
			Sí es momento	sigmf [0.3 50]
Entrada	V2: Situación económica presente del país	[0, 100]	Peor	sigmf [-0.2 45]
			Igual	gaussmf [3 50]
			Mejor	sigmf [0.2 55]
Entrada	V3: Situación económica futura del país	[0, 100]	Peor	sigmf [-0.2 45]
			Igual	gaussmf [3 50]
			Mejor	sigmf [0.2 55]
Entrada	V4: Situación económica presente de la empresa	[0, 100]	Peor	sigmf [-0.2 45]
			Igual	gaussmf [3 50]
			Mejor	sigmf [0.2 55]

Entrada	V5: Situación económica futura de la empresa	[0, 100]	Peor	sigmf [-0.2 45]
			Igual	gaussmf [3 50]
			Mejor	sigmf [0.2 55]
Salida	Confianza empresarial	[0,100]	Muy baja	sigmf [-1 40]
			Baja	gaussmf [3 45]
			Media	gaussmf [3 50]
			Alta	gaussmf [3 55]
			Muy alta	sigmf [1 60]

Fuente: Elaboración propia.

Etapa 2. Establecimiento de las reglas difusas: si-entonces.

Las reglas difusas especifican el vínculo entre las variables de entrada y salida del sistema (Medina, 2006). Por tanto, son una parte esencial para el funcionamiento del sistema y son de la forma:

SI <antecedente> ENTONCES <consecuente>

Como las reglas en este sistema tienen múltiples antecedentes, se unen con el operador lógico AND utilizando la T-norma (mínimo $a \wedge b$) (Kaufmann & Gil, 1993), de esta forma se obtiene un único valor que representa el resultado de la evaluación de los antecedentes; ese resultado es el que se aplica al consecuente.

En los sistemas de reglas clásicas de la forma SI<antecedente>ENTONCES<consecuente>, Diciembre (2017) sostiene que “si el antecedente es verdadero, el consecuente es también verdadero. En sistemas donde el antecedente es difuso, todas las reglas se ejecutan parcialmente, y el consecuente es verdadero en cierto grado” (p.46). Estos mecanismos de inferencia o razonamiento aproximado permiten inferir un valor difuso cuando se tienen entradas difusas (Medina, 2006).

De los mecanismos de inferencia existentes, se elige el método Mamdani por ser el más utilizado en las ciencias sociales. Por este camino, es habitual listar todas las reglas difusas para saber cómo se obtiene la salida del sistema.

Para establecer las reglas difusas propuestas en el presente trabajo, se inició desarrollando todas las posibles reglas que se podrían obtener uniendo los cinco antecedentes con el operador AND que corresponden a las cinco variables de entrada obteniendo un total de 162 ($2 \times 3 \times 3 \times 3 \times 3$) reglas totales. Posteriormente se realizó una depuración detallada de cada una de las reglas para eliminar aquellas que no tenían ningún sentido o lógica alguna, conservando aquellas que tengan el consecuente muy evidente. Por último, se consultó con algunos expertos un número menor de reglas para su consideración y opinión. Con este proceso se redujeron a 69 reglas difusas que son las que se capturaron en FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

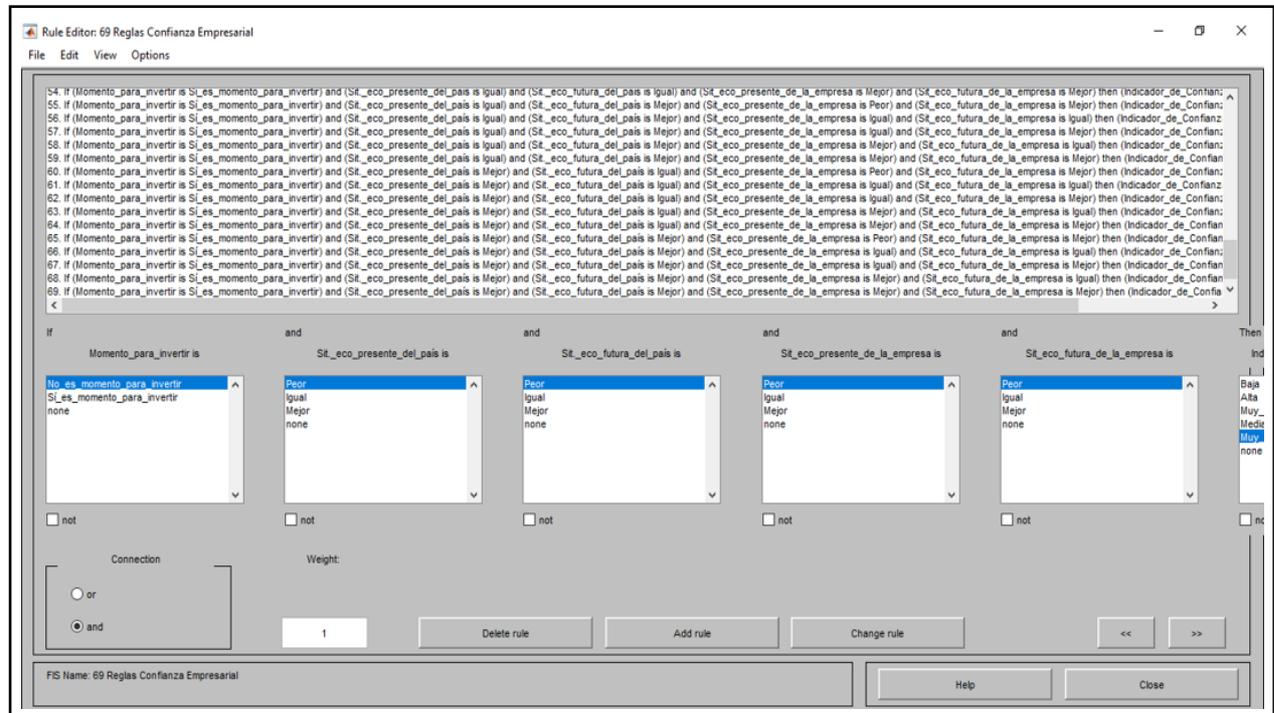
Para ilustrar lo anterior a continuación se muestra la primera y la última regla escrita en Matlab.

Regla 1. Si <V1: momento adecuado para invertir es NO> AND Si < V2: Situación económica presente del país es PEOR> AND Si < V3: Situación económica futura del país es PEOR> AND Si < V4: Situación económica presente de la empresa es PEOR> AND Si <V5: Situación económica futura de la empresa es PEOR> ENTONCES<Confianza empresarial es MUY BAJA>

Regla 69. Si <V1: momento adecuado para invertir es SÍ> AND Si < V2: Situación económica presente del país es MEJOR> AND Si < V3: Situación económica futura del país es MEJOR> AND Si < V4: Situación económica presente de la empresa es MEJOR> AND Si <V5: Situación económica futura de la empresa es MEJOR>ENTONCES<Confianza empresarial es MUY ALTA>

Por haber resultado un número grande de reglas en este sistema, en la Figura 7 se muestra sólo un fragmento del editor de reglas difusas.

Figura 7. Editor de reglas difusas entre las variables de entrada y salida.



Fuente: Elaboración propia con FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

Etapas 3. Defuzificación.

Una vez concluidas las etapas de Fuzificación y el establecimiento de las reglas difusas, se procesa a operar el SID para obtener el indicador de confianza empresarial. El sistema se ilustra en la Figura 8.

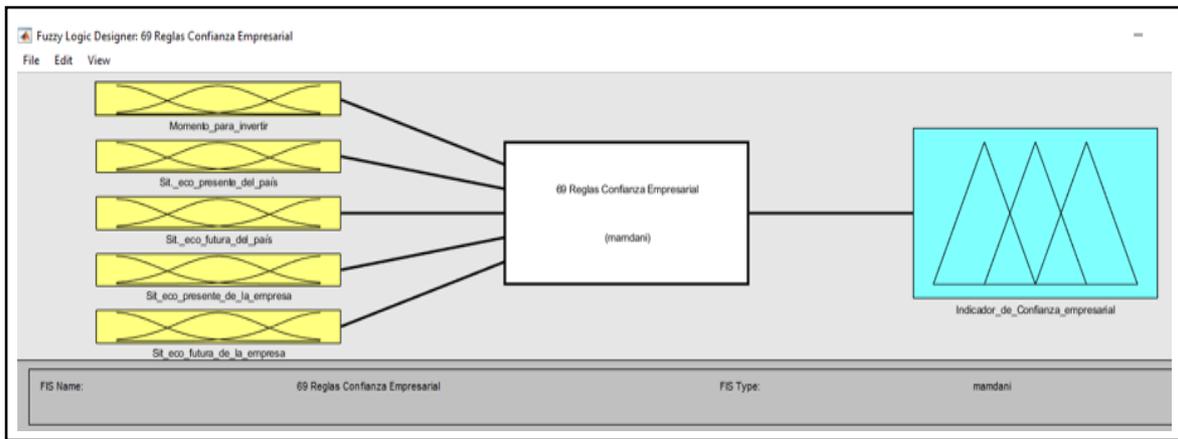
La forma de operar el sistema es capturando los valores de cada variable de entrada. Dichos valores se someten a las reglas difusas del tipo: SI <antecedente> ENTONCES <consecuente> y de esa forma se obtiene para cada regla un <consecuente> difuso, donde con ello, se realiza una agregación de los <consecuentes> para proceder a la etapa última llamada defuzificación.

El proceso de defuzificación permite asociar a un conjunto difuso un valor numérico (crisp) como solución al sistema planteado.

Si en un sistema de inferencia difuso se obtiene una conclusión a partir de la información de entrada y ésta última se expresa en términos difusos, el <consecuente> es también difuso en función del método de inferencia utilizado (en este caso Mamdani), pero el dato de salida del sistema debe ser un único valor numérico (crisp) que sea representativo de todo el conjunto; de hecho, existen varios métodos de defuzificación y arrojan en general resultados diferentes (Diciembre, 2017).

En este caso se ha utilizado el centroide por ser el más común y ampliamente utilizado. Este criterio calcula el centro de gravedad del área limitada por la curva de la función de membresía para ser el valor de salida representativo de la cantidad difusa y ese número es la medición del indicador de confianza empresarial (ICE), por lo cual para diferenciarlo del publicado por el INEGI se identifica como el ICE difuso (ICED).

Figura 8. Sistema de Inferencia Difuso (SID) para obtener un indicador de confianza empresarial.



Fuente: Elaboración propia con FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

En la Figura 9 se muestra un fragmento de las 69 reglas donde, a manera de ejemplo, se capturan las cinco cifras originales publicadas por la encuesta EMOE referente a la confianza empresarial para el sector construcción del mes de enero 2021 y se observa con el proceso de defuzificación, que el valor de salida (crisp) es 38.6 siendo este número el indicador de confianza empresarial que arroja el sistema de inferencia difuso. Este procedimiento se realizó para cada uno de los 110 meses.

Figura 9. Proceso de defuzificación.



Fuente: Elaboración propia con FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

5. Resultados

El modelo se puso a prueba con 110 meses que corresponden de enero del año 2012 a febrero del año 2021. Como ya se había mencionado en el apartado 3.1 ‘Origen de la información: EMOE’, los datos corresponden a los 6 años del gobierno anterior del PRI con el expresidente Enrique Peña Nieto y algo más de los dos primeros años del actual gobierno de Morena del presidente Andrés Manuel López Obrador.

Para comprobar el funcionamiento del sistema, se realizó una correlación entre los indicadores de confianza empresarial (ICE) publicados por el INEGI y los indicadores de confianza empresarial difusos (ICED) obtenidos por el sistema que estamos proponiendo y resultó que la correlación total de todo el período es de $r = 0.96$. Al ser el coeficiente de correlación muy alto, se puede decir que ambos indicadores tienen una estrecha relación entre sí.

El resultado de una correlación así de alta muestra que las reglas difusas utilizadas en el sistema propuesto, permiten obtener un ICED con un comportamiento muy similar a los publicados por el INEGI, con la ventaja de que el valor numérico obtenido no se basa en la media aritmética simple, más bien pone a prueba la lógica difusa desarrollada por Zadeh y la inferencia desarrollada por Mamdani. Lo anterior muestra una vez más que el razonamiento aproximado, es la capacidad del ser humano de obtener conclusiones útiles a partir del conocimiento incompleto, impreciso, subjetivo o con cierto grado de incertidumbre.

En la Tabla 4 se muestra para cada mes del período de prueba, los ICE tanto del INEGI como los ICED que arroja el sistema.

Se ilustra en la Figura 10 una gráfica de línea donde se puede apreciar el comportamiento similar de ambos indicadores donde, como se había dicho, se obtuvo una correlación total de 0.96. No obstante, se calcularon las correlaciones para cada período de gobierno y se puede observar en la misma Figura 10 que la correlación del período del presidente Andrés Manuel López Obrador resultó más alta con 0.99 comparada con 0.95 del período del gobierno anterior con el expresidente Enrique Peña Nieto. La comparación entre los dos períodos de gobierno induce a pensar que las reglas difusas construidas en este momento están más en sintonía con el conocimiento y percepción que tiene el empresario del actual gobierno contrastado con el régimen anterior.

Un resultado interesante al observar los niveles del ICED en la Figura 10 en todo el período de prueba, es que a pesar de que los resultados se comportan muy semejantes, el sistema arrojó indicadores que resultaron ser generalmente más altos o más bajos que los publicados por el INEGI, además de tener una mayor dispersión los indicadores del ICED vs ICE. Prueba de ello, el coeficiente de variación es 21.36% vs 9.82% respectivamente. Este resultado es parecido al estudio comparativo que realizaron Lalla et al. (2005) donde en su experimento para medir la actividad docente en Italia, los puntajes resultaron por lo general más altos o más bajos en el sistema difuso que los obtenidos usando la Escala de Likert. Lo anterior indica que los SID utilizando variables lingüísticas, son capaces de captar mayor realismo comparado con las estadísticas como la media aritmética utilizada al final de su cálculo por el INEGI, además de que el promedio no es muy confiable en reportes o informes en virtud de centralizar los datos en general.

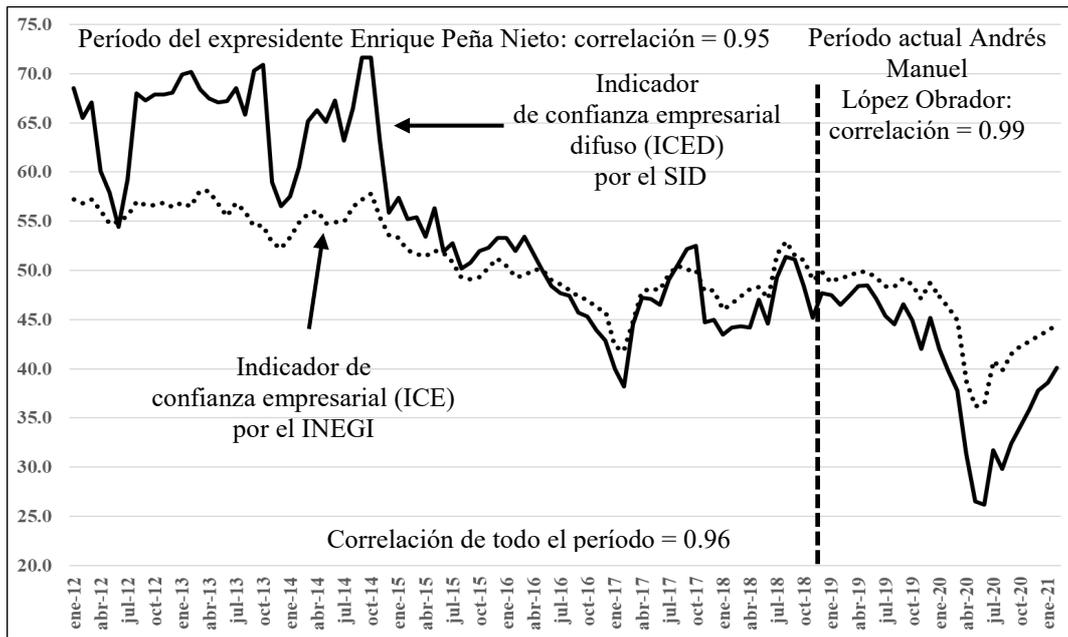
Se puede apreciar en la misma Figura 10 que al inicio del nuevo gobierno de Morena al parecer ambos indicadores muestran una cierta estabilidad y conforme avanza la gestión del actual gobierno y el efecto de la pandemia, se observa una tendencia a la baja en el indicador de confianza empresarial con ambos criterios de medición. Cayendo de forma más pronunciada los indicadores obtenidos por el SID al tener cifras más bajas. En los últimos meses del período en estudio se puede apreciar una recuperación a dicha caída. Cabe recordar que estos indicadores son cifras absolutas.

Tabla 4. Indicadores de confianza empresarial del sector construcción en el período de prueba.

Fecha	Indicador de confianza empresarial (ICE) por el INEGI	Indicador de confianza empresarial (ICED) por el SID	Fecha	Indicador de confianza empresarial (ICE) por el INEGI	Indicador de confianza empresarial (ICED) por el SID
ene-12	57.2	68.5	ago-16	48.0	47.4
feb-12	56.8	65.5	sep-16	47.3	45.7
mar-12	57.2	67.1	oct-16	47.0	45.3
abr-12	56.0	60.1	nov-16	46.2	43.9
may-12	54.7	57.9	dic-16	45.8	42.9
jun-12	55.0	54.4	ene-17	42.3	40.0
jul-12	55.6	59.2	feb-17	41.8	38.2
ago-12	57.0	68.0	mar-17	44.7	44.5
sep-12	56.6	67.3	abr-17	47.8	47.2
oct-12	56.6	67.9	may-17	48.2	47.1
nov-12	56.9	67.9	jun-17	48.0	46.5
dic-12	56.4	68.1	jul-17	49.6	49.1
ene-13	56.9	69.9	ago-17	50.5	50.6
feb-13	56.5	70.2	sep-17	50.0	52.2
mar-13	58.1	68.4	oct-17	50.1	52.5
abr-13	58.1	67.5	nov-17	47.9	44.7
may-13	56.8	67.1	dic-17	48.0	45.0
jun-13	55.5	67.2	ene-18	46.0	43.5
jul-13	56.8	68.5	feb-18	46.7	44.2
ago-13	56.0	65.8	mar-18	47.4	44.3
sep-13	54.5	70.3	abr-18	48.1	44.2
oct-13	54.6	70.9	may-18	48.3	47.0
nov-13	52.9	59.0	jun-18	47.1	44.6
dic-13	52.2	56.5	jul-18	51.7	49.3
ene-14	53.4	57.5	ago-18	52.9	51.4
feb-14	54.9	60.5	sep-18	51.5	51.1
mar-14	55.8	65.2	oct-18	51.0	48.4
abr-14	56.0	66.3	nov-18	49.0	45.2
may-14	54.8	65.1	dic-18	49.8	47.7
jun-14	54.9	67.3	ene-19	48.8	47.5
jul-14	55.0	63.2	feb-19	49.3	46.5
ago-14	56.5	66.5	mar-19	49.4	47.4
sep-14	57.2	71.6	abr-19	49.9	48.4
oct-14	57.8	71.6	may-19	49.8	48.5
nov-14	55.3	63.1	jun-19	49.3	47.1
dic-14	53.5	55.9	jul-19	48.4	45.4
ene-15	53.3	57.4	ago-19	48.3	44.5
feb-15	52.1	55.2	sep-19	49.2	46.6
mar-15	51.7	55.4	oct-19	48.6	44.9
abr-15	51.4	53.4	nov-19	47.1	42.0
may-15	52.0	56.3	dic-19	48.7	45.2
jun-15	51.8	51.9	ene-20	47.3	42.0
jul-15	50.9	52.8	feb-20	46.2	39.8
ago-15	49.3	50.2	mar-20	44.9	37.8
sep-15	49.1	50.8	abr-20	38.6	31.3
oct-15	49.3	52.0	may-20	36.2	26.5
nov-15	50.2	52.3	jun-20	36.5	26.2
dic-15	51.2	53.3	jul-20	40.8	31.7
ene-16	50.4	53.3	ago-20	39.9	29.8
feb-16	49.3	52.0	sep-20	41.5	32.4
mar-16	49.5	53.4	oct-20	42.3	34.1
abr-16	50.1	51.7	nov-20	42.8	35.8
may-16	50.0	50.0	dic-20	43.4	37.8
jun-16	49.0	48.4	ene-21	43.8	38.6
jul-16	48.6	47.7	feb-21	44.5	40.1

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Comparativo del indicador de confianza empresarial entre INEGI y el SID.

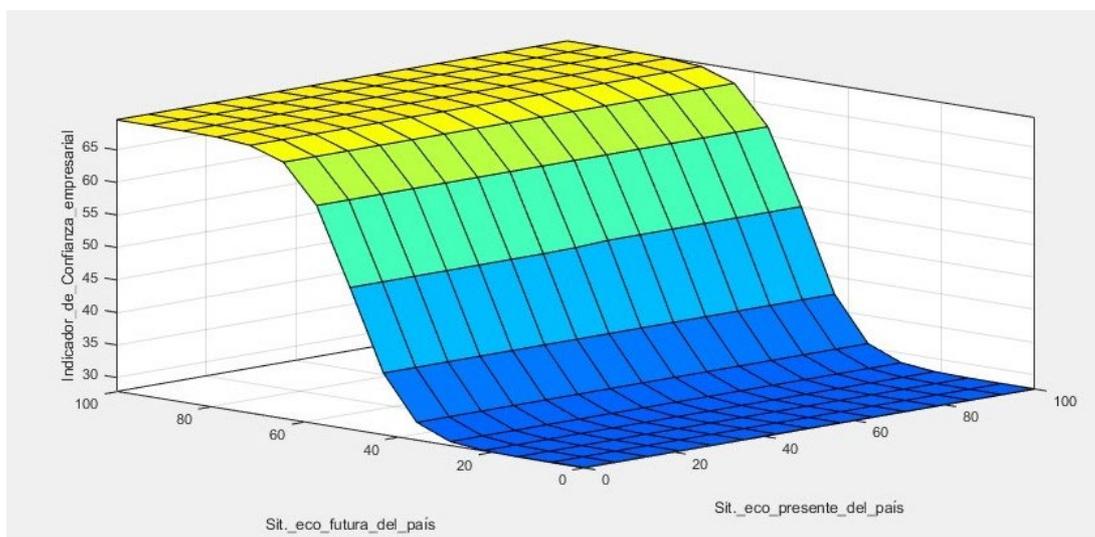


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, Matlab elabora unas gráficas en tercera dimensión donde seleccionando ciertas variables del sistema, se puede observar el comportamiento de alguna variable de interés. Con esto presente, se ilustran tres figuras de todas las posibles combinaciones.

En la Figura 11 se aprecia que una condición necesaria para aumentar el indicador de confianza empresarial, es mejorar la percepción de la situación económica futura del país (ver eje vertical). La otra variable en cambio, el nivel de percepción de la situación económica presente del país sea cual sea su nivel, no tiene ningún efecto en la confianza empresarial. En suma, el peso mayor lo tiene la expectativa a futuro de la economía para mejorar la confianza en este sector.

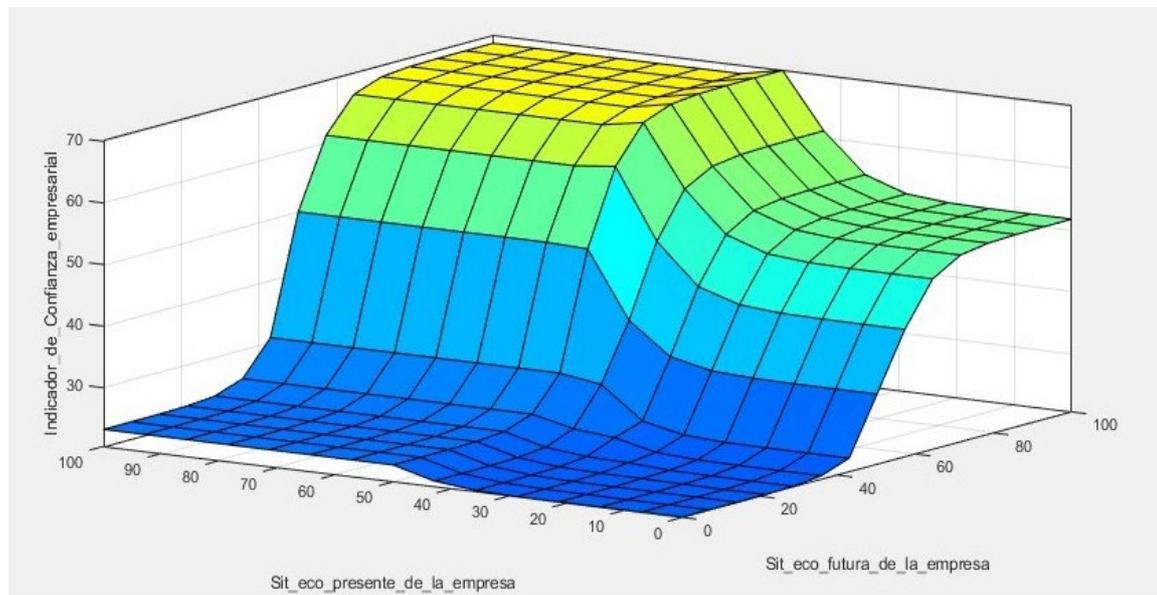
Figura 11. Indicador de confianza empresarial en función de la situación económica presente y futura del país.



Fuente: Elaborado con FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

En la Figura 12 se puede apreciar que para niveles bajos en la percepción de la situación económica de la empresa tanto presente como futura, el indicador de confianza empresarial es también bajo (ver eje vertical). No obstante, en la medida en que la percepción de la situación económica futura de la empresa es superior, va aumentando el indicador de confianza empresarial teniendo un repunte mayor cuando la percepción de la situación económica presente de la empresa sea también superior. Es decir, habrá una mayor confianza empresarial en la medida en que exista una mejor percepción de la situación económica de la empresa presente y futura.

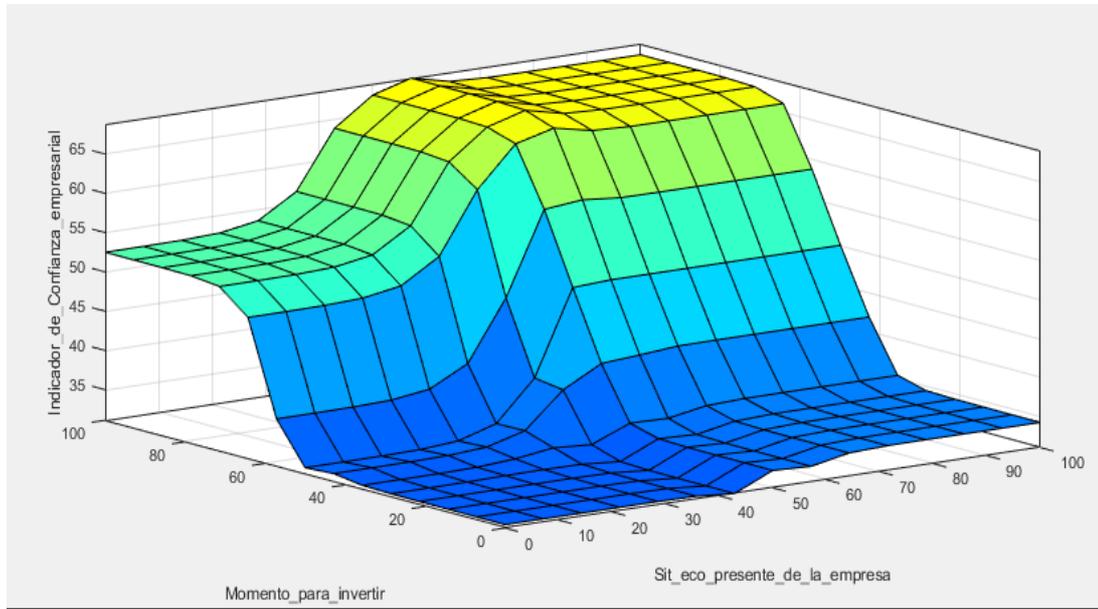
Figura 12. Indicador de confianza empresarial en función de la situación económica presente y futura de la empresa.



Fuente: Elaborado con FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

En la Figura 13 el comportamiento del sistema indica que mientras la percepción de la situación económica presente de la empresa sea baja al igual que los niveles de percepción de la variable momento de invertir, el indicador de confianza empresarial se mantendrá también en niveles muy bajos (ver eje vertical). Pero conforme mejore los niveles de percepción de las dos variables anteriores, crecerá el indicador de confianza empresarial. En este caso, se aprecia que la percepción del momento adecuado para invertir es un detonador importante para aumentar la confianza empresarial en el sector construcción.

Figura 13. Indicador de confianza empresarial en función de la situación económica presente de la empresa y el momento de invertir.



Fuente: Elaborado con FuzzyLogicDesigner de MATLAB R2019a.

6. Conclusiones

El indicador de confianza empresarial en el sector construcción obtenido por el sistema de inferencia difuso, ofrece resultados cuyo comportamiento a lo largo del tiempo de prueba son similares a la información oficial que emite el INEGI. Es decir, la propuesta ofrece resultados consistentes con la ventaja de que las puntuaciones del ICED en general son más bajas o más altas. Es decir, el SID proporciona una medición más sensible ante cambios en la percepción u opinión de los empresarios sobre la situación económica de sus empresas y el país. Esto coincide con otros estudios similares como el de Lalla et al. (2005).

Si bien los indicadores numéricos por ambos caminos conservan una muy alta correlación, la aportación del presente trabajo radica en que la cifra absoluta del indicador de confianza empresarial difuso no es el resultado de una media aritmética simple de los cinco indicadores simples del cuestionario proyectados y ponderados, es más bien el resultado de la aplicación de la lógica difusa junto con una serie de reglas que se establecen como producto del conocimiento del fenómeno en estudio. Esto reduce el debate de utilizar la media aritmética en variables cualitativas medidas por el INEGI para obtener el ICE.

El sistema de inferencia difuso diseñado con las 69 reglas establecidas, permite obtener un indicador de confianza empresarial con niveles bajos en los últimos meses, reflejo de la forma de gobernar y el impacto económico de la pandemia mundial. Si el gobierno no cambia el rumbo de su estrategia para generar mayor confianza en la inversión y acelerar la reactivación económica del país, los niveles de confianza en los empresarios en este sector se mantendrán por más tiempo en niveles bajos.

El sistema presentado en este documento ha resultado ser útil, mostrando una vez más la necesidad de transitar de la lógica clásica (verdadero o falso) hacia la lógica difusa donde todo elemento pertenece a un conjunto en un cierto nivel.

El presente documento forma parte de un cuerpo de trabajos ya existentes donde se buscan alternativas para trabajar variables medidas en la forma de Likert a través de la transformación de esas etiquetas a variables lingüísticas, como la escala de Likert difusa propuesta por Li (2013). Con esto se trata de capturar toda la ambigüedad o subjetividad que tienen los datos obtenidos por el INEGI a través de la encuesta EMOE.

En el sistema difuso diseñado no existe el umbral del valor 50 puntos como la línea fronteriza entre si hay confianza o no hay confianza, como lo establece el documento metodológico utilizado por el INEGI (EMOE, 2019). En este caso, todo es cuestión de interpretar adecuadamente las cifras absolutas que arroja el sistema.

Por otro lado, el diseño del software Matlab permite al usuario poder desarrollar sistemas de inferencia sin necesidad de ser un experto en programación. No obstante, los sistemas de inferencia difusos, también tienen algunos inconvenientes tales como: la necesidad de contar con información de algún o algunos expertos en el proceso, y una vez puesto a funcionar el sistema no es fácil en muchos casos determinar los cambios que se necesitan hacer en las funciones de membresía, reglas difusas, métodos de inferencia y defuzzificación para obtener resultados razonables en la salida como se ha obtenido en este caso. Cualquier pequeña modificación puede ocasionar cambios drásticos en la eficiencia del sistema.

En definitiva, se puede decir que el presente estudio, se incorpora al cuerpo de trabajos desarrollados desde hace varios años con la finalidad de mostrar cómo las escalas de Likert se pueden adaptar al contexto de los subconjuntos borrosos y la lógica difusa. En este caso, a través de un SID se logró medir un indicador de confianza para las empresas que conforman el sector de la construcción con herramientas que rompen los paradigmas tradicionales. Esto es tan sólo un eslabón de un camino por transitar.

Referencias

- Adekoya, O.B., & Oliyide, J.A. (2021). Business confidence as a strong tracker of future growth: is it driven by economic policy uncertainty and oil price shocks in the OECD countries? *Future Business Journal*, 7(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s43093-021-00103-7>
- Arango, M.D., Serna, C.A., & Pérez, G. (2012). La gestión de indicadores empresariales con lógica difusa para la toma de decisiones. *Lámpsakos*, 8 (1), 47-53. <https://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/678/650>
- Banco de México (2019). *Informe trimestral enero-marzo 2019*. <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y-prensa/informes-trimestrales/%7B970DDE85-9C2D-BF98-570A-D1266B1144C9%7D.pdf>
- Bandiera, L. (2002, diciembre). *The Role of Business Confidence Indicators in the International Interdependencies between Germany and the United States*. (Kiel Advanced Studies Working Paper No. 398) https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1078918
- Carnazza, P., & Parigi, G. (2003). Tentative business confidence indicators for the Italian economy. *Journal of Forecasting*, 22(8), 587-602. <https://doi.org/10.1002/for.878>
- Chimi, C.J., & Russell, D.L. (Noviembre 8, 2009). *The Likert scale: A proposal for improvement using quasi-continuous variables*. [Sesión de conferencia] Information Systems Education Conference, Washington, DC.

- Cruz, A., & Alarcón, A.D. (2017). La lógica difusa en la modelización del riesgo operacional. Una solución desde la inteligencia artificial en la banca cubana. *Cofin Habana*, 11(2), 122-135. <http://www.cofinhab.uh.cu/index.php/RCCF/article/view/232>
- De Lucio, J., & Valero, M. (2009). El Indicador de Confianza Empresarial de las Cámaras de Comercio. *Índice: revista de estadística y sociedad*, 32, 14-17. <http://www.revistaindice.com/numero32/p14.pdf>
- Demirel, S.K., & Artan, S. (2017). The causality relationships between economic confidence and fundamental macroeconomic indicators: Empirical evidence from selected European Union countries. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 7(5), 417-424. <https://econjournals.com/index.php/ijefi/article/view/5356>
- Diciembre, S. (2017). *Sistemas de Control con Lógica Difusa: Métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK)*. [Tesis de Grado. Universitat Jaume I]. Repositori Universitat Jaume I. <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/173788>
- D'Negri, C.E., & De Vito, E. L. (2006). Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa. *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, 6(3), 126-136. <https://www.redalyc.org/pdf/3821/382138367007.pdf>
- Enciso, M., Acosta, A., & Campo, J. (2013). Sistema de inferencia difuso para la inflación en Colombia. *Ensayos sobre Política Económica*, 31(71), 73-84. <http://www.scielo.org.co/pdf/espe/v31n71/v31n71a5.pdf>
- Encuesta Mensual de Opinión Empresarial (EMOE) (2019). EMOE: *síntesis metodológica: serie 13: Encuestas Económicas Nacionales*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México: INEGI https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825109110.pdf
- Flores, L., & Camarena, M. (2013). Evaluación de programas públicos en el marco de la realidad social. Metodología basada en la lógica difusa como instrumento para el análisis de fenómenos sociales. *Revista Latinoamericana de Metodología de la Investigación Social: ReLMIS*, 5, 8-23. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5275941>
- Flores, L., & Salas, I.A. (2015). Las brechas de género en la calidad del empleo en México. Una valoración basada en modelos de lógica difusa. *Análisis Económico*, XXX(75), 89-112. <https://www.redalyc.org/pdf/413/41343702004.pdf>
- Gallardo, M., & Pedersen, M. CEPAL (2007). *Indicadores líderes compuestos: resumen de metodologías de referencia para construir un indicador regional en América Latina*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4750>
- Gallardo, M., & Pedersen, M. CEPAL (2008). *Encuesta de opinión empresarial del sector industrial en América Latina*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4770/S0800468_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- González, C. (2015). *Lógica difusa una introducción práctica, técnicas de Soft Computing*. https://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf
- Guzmán, D., & Castaño, V.M. (2006). La lógica difusa en ingeniería: principios, aplicaciones y futuro. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 24(2), 87-107. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/cienciaytecnologia/article/view/2640/2591>

- Hesketh, B., Pryor, R., Gleitzman, M., & Hesketh, T. (1988). Practical applications and psychometric evaluation of a computerised fuzzy graphic rating scale. *Advances in Psychology*, 56, 425-454. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)60493-8](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60493-8)
- Hodge, D.R., & Gillespie, D. (2003). Phrase completions: An alternative to Likert scales. *Social Work Research*, 27(1), 45-55. <https://www.researchgate.net/publication/234692602>
- INEGI (2019, 1 octubre). *Indicadores de Confianza Empresarial: Cifras durante septiembre de 2019*
[Comunicado de Prensa Número 477/19]
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2019/ice/ice2019_10.pdf
- INEGI (2020, 25 febrero). *Producto interno bruto de México durante el cuarto trimestre de 2019*
[Comunicado de Prensa Número 110/20]
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/pib_pconst/pib_pconst2020_02.pdf
- INEGI (2020, 6 julio). *Indicador mensual de la inversión fija bruta en México durante abril de 2020*
[Comunicado de Prensa Número 298/20]
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/imfbcf/imfbcf2020_07.pdf
- INEGI (2020, 23 julio). *Indicadores de empresas constructoras: Cifras durante mayo de 2020*
[Comunicado de Prensa Número 344/20]
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/enec/enec2020_07.pdf
- INEGI (2021, 25 febrero). *Producto interno bruto de México durante el cuarto trimestre de 2019*
[Comunicado de Prensa Número 157/21]
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/pib_pconst/pib_pconst2021_02.pdf
- INEGI (2021, 1 julio). *Indicadores de Confianza Empresarial: Cifras durante junio de 2021*
[Comunicado de Prensa Número 365/21]
https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/ice/ice2021_07.pdf
- Jamieson, S. (2004). Likert scales: How to (ab) use them? *Medical Education*, 38(12), 1217-1218. <https://eprints.gla.ac.uk/59552/1/59552.pdf>
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S., & Pal, D. K. (2015). Likert scale: Explored and explained. *British Journal of Applied Science & Technology*, 7(4), 396-403. https://www.researchgate.net/publication/276394797_Likert_Scale_Explored_and_Explained
- Kaufmann, A., & Gil, J. (1993). *Técnicas especiales para la gestión de expertos*. Barcelona: Editorial Milladoiro.
- Khan, H., & Upadhyaya, S. (2020). Does business confidence matter for investment?. *Empirical Economics*, 59(4), 1633-1665. <https://doi.org/10.1007/s00181-019-01694-5>
- Kleynhans, E., & Coetzee, C. (2021). Regional Business Confidence as Early Indicator of Regional Economic Growth. *Managing Global Transitions: International Research Journal*, 19(1), 27-48. <https://www.hippocampus.si/ISSN/1854-6935/19.27-48.pdf>
- Lalla, M., Facchinetti, G., & y Mastroleo, G. (2005). Ordinal scales and fuzzy set systems to measure agreement: an application to the evaluation of teaching activity. *Quality and Quantity*, 38(5), 577-601. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11135-005-8103-6>

- Li, Q. (2013). A novel Likert scale based on fuzzy sets theory. *Expert Systems with Applications*, 40(5), 1609-1618. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.015>
- Los, V., & Ocheretin, D. (2019). Construction of business confidence index based on a system of economic indicators. *SHS Web of Conference*, 65, 1-6. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196506003>
- Phélan, M. (2011). Revisión de índices e indicadores de desarrollo: aportes para la medición del buen vivir (sumak kawsay). *Obets: Revista de Ciencias Sociales*, 6(1), 69-95. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3796300>
- Mamdani, E.H. (1977). Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE Computer Architecture Letters*, 26(12), 1182-1191. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1674779>
- Martinez, N., Gómez, D., & Montero, J. (1-3 de febrero del 2012). *Impacto de las etiquetas en la interpretación de la escala de Likert* [Sesión de conferencia]. XVI Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica Fuzzy, Valladolid, España, <http://estylf2012.eii.uva.es/ActasESTYLF2012.pdf>
- Matas, A. (2018). Diseño del formato de escalas tipo Likert: un estado de la cuestión. *Revista electrónica de investigación educativa*, 20(1), 38-47. <https://doi.org/10.24320/redie.2018.20.1.1347>
- Mazurek, J., Pérez, C., Fernández, C., Magnot, J.P., & Magnot, T. (2021). The 5-item Likert Scale and percentage scale correspondence with implications for the use of models with (fuzzy) linguistic variables. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y Empresa*, 31, 3-16. <https://dx.doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconomia.4010>
- Medina, S. (2006). Estado de la cuestión acerca del uso de la lógica difusa en problemas financieros. *Cuadernos de Administración*, 19(32), 195-223. <https://www.redalyc.org/pdf/205/20503209.pdf>
- Medina, S., & Paniagua, G. (2008). Modelo de inferencia difuso para estudio de crédito. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, 75(154), 215-229. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7550614>
- Mendoza, L.A. (2009). Sistema de lógica difusa. Una aplicación a la percepción empresarial. *Revista Universidad y Empresa*, 11(17), 252-270. <https://revistas.urosario.edu.co/index.php/empresa/article/view/1092/990>
- Nezinský, E., & Baláz, V. (2016). Are the Confidence Indicators Meaningful for Forecasting Real Economy? 1: Testing Power of Confidence Indicators for Industry Output, Prices and Employment in the Visegrád Group Countries. *Ekonomicky casopis*, 64(10), 923-936. <https://www.proquest.com/docview/1864074613?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true>
- Santero, T., & Westerlund, N. Organisation for Economic Co-operation and Development (1996). *Confidence Indicators and Their Relationship to Changes in Economic Activity. OECD Economics Department Working Papers*, No. 170, OECD Publishing, Paris. <https://www.oecd-ilibrary.org/content/paper/537052766455?crawler=true>
- Siegrist, M., Gutscher, H., & Earle, T.C. (2005). Perception of risk: the influence of general trust, and general confidence. *Journal of Risk Research*, 8(2), 145-156. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1366987032000105315>

- Soto, A.M., & Medina, S. (2004). Desarrollo de un sistema de inferencia difuso para la evaluación de crédito por parte de una empresa prestadora de servicios. *Dyna*, 71(143), 25-36. <https://www.redalyc.org/pdf/496/49614303.pdf>
- Stevens, S.S. (1946). On the theory of scales of measurement. *Science AAAS*, 103(2684), 677-680. https://psychology.okstate.edu/faculty/jgrice/psyc3120/Stevens_FourScales_1946.pdf
- Vonglao, P. (2017). Application of fuzzy logic to improve the Likert scale to measure latent variables. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, 38(3), 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.kjss.2017.01.002>
- Willits, F. K., Theodori, G. L., & Luloff, A. E. (2016). Another look at Likert scales. *Journal of Rural Social Sciences*, 31(3), 126-139. <https://egrove.olemiss.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1073&context=jrss>
- Wu, H., & Leung, S. O. (2017). Can Likert scales be treated as interval scales? A Simulation study. *Journal of Social Service Research*, 43(4), 527-532. <https://doi.org/10.1080/01488376.2017.1329775>
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, L. A. (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information sciences*, 8(3), 199-249. [https://doi.org/10.1016/0020-0255\(75\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0020-0255(75)90036-5)