

LA GESTIÓN DE INDICADORES EMPRESARIALES CON LÓGICA DIFUSA PARA LA TOMA DE DECISIONES

BUSINESS MANAGEMENT INDICATORS WITH FUZZY LOGIC TO MAKE DECISIONS

**Ph.D. Martín Darío
Arango Serna**

*Universidad Nacional
Medellín, Colombia*

**MSc. Conrado Augusto
Serna Urán**

*Universidad de San Buenaventura
Medellín, Colombia*

**MSc. Giovanni Pérez
Ortega**

*Departamento de Ingeniería de la
Organización Universidad Nacional
Medellín, Colombia*

Resumen. En las organizaciones actuales la toma de decisiones está acompañada de cierto grado de incertidumbre, lo que no permite planificar sobre resultados ciertos. En algunas ocasiones medir estos resultados también implica incertidumbre asociada con la ambigüedad o subjetividad del instrumento utilizado. Como solución para este problema, se propone un sistema de medición y análisis basado en el Balance Scorecard que incorpora técnicas de lógicas difusas para disminuir la incidencia de esta incertidumbre en los procesos de toma y análisis de decisiones.

Palabras clave: Balance Scorecard; lógica difusa; gestión de indicadores; sistema de inferencia difusa, modelo difuso tipo Mamdani.

Abstract. In today's organizations the decision-making processes are always accompanied by some degree of uncertainty makes it impossible to plan on completely accurate results. Sometimes measure these results also have some uncertainty associated with ambiguity or subjectivity of the instrument used; as a solution to this problem, this paper proposes a measurement and analysis system based on the Balance Scorecard that incorporates fuzzy logic techniques to decrease the incidence of this type of uncertainty in the processes of making and analysis decision.

Keywords: Balanced Scorecard, fuzzy logic, management Indicators, fuzzy inference system, Mamdani fuzzy model.

1. INTRODUCCIÓN

El Balance Scorecard (BSC) y la teoría de la lógica difusa son dos conceptos difundidos en investigaciones que han tenido aplicaciones prácticas en la mayoría de los campos y sectores empresariales. Este estudio integra ambos conceptos y parte de un modelo de análisis de resultados basado en el BSC, que reúne aspectos como la medición del desempeño de procesos productivos, estratégicos y de apoyo en los que factores como la competencia laboral, el clima organizacional, el nivel de satisfacción del cliente, los resultados financieros, entre otros, se consolidan para entregar una visión sistémica en relación con el nivel de competitividad que posee la organización, mientras que las técnicas de lógica difusa, y específicamente la inferencia difusa, sirve de base para que el análisis de los resultados incluya aspectos ambiguos o imprecisos presentes en cualquier modelo de gestión y que requieren ser tratados con estas técnicas en lugar de ignorarlos como tradicionalmente ha sucedido.

En la primera parte del artículo se aborda una definición del BSC y cuatro perspectivas fundamentales (clientes, procesos internos, financiero, empleados) para el desarrollo de estos modelos. Luego, se hace una introducción a la lógica difusa y al concepto de inferencia y se concluye con el despliegue de un modelo de integración de ésta con BSC con aplicación teórica a una empresa.

2. BALANCE SCORECARD

En los últimos años las empresas han aplicado metodologías que han sido utilizadas para hacer mediciones, tomar decisiones y mejorar los procesos; sin embargo, en sus aplicaciones no se enfocaban en alinear la estrategia con las acciones desarrolladas. La necesidad de disponer de herramientas de medición del desempeño a diferentes niveles de la toma de decisiones y con un enfoque balanceado, llevó a Kaplan y Norton [1] a proponer el BSC como un medio para evaluar el desempeño de una organización desde cuatro perspectivas: clientes, finanzas, procesos internos y aprendizaje y crecimiento. El BSC inicia con establecer objetivos estratégicos y factores de éxito, para luego implementar indicadores que ayuden a medir áreas críticas; de esta manera el BSC se consolida como un sistema de medida de rendimiento que refleja la visión y la estrategia de los aspectos más significativos de la compañía [2].

Ahora, la aplicación del BSC y de otros modelos de gestión, están sujetos a condiciones de incertidumbre que hacen más difícil proponer objetivos claros y métodos acertados para alcanzarlos, incluso los resultados obtenidos pueden ser imprecisos o presentar dificultad cuando se integran con otros mecanismos de medición para obtener conclusiones sistémicas. Por tal razón, cada vez es más necesario el uso de herramientas como la lógica difusa para tratar apropiadamente la incertidumbre en la toma de decisiones.

3. LÓGICA E INFERENCIA DIFUSA

La teoría de la lógica difusa fue impulsada por Zadeh [3], como una manera de representar conocimientos inexactos, vagos, o ambiguos. Esta herramienta es distinta a la lógica clásica porque pretende introducir un grado de incertidumbre en el razonamiento y pensamiento humano, para tener respuestas basadas en conceptos más coherentes. La necesidad que tiene el mundo actual de encontrar soluciones reales a problemas donde la vaguedad existe, ha hecho que la lógica difusa haya logrado trascendencia en su aplicabilidad en las áreas económicas, sociales, industriales y políticas, entre otras [4].

La aplicación más extendida de la lógica difusa es sin duda Fuzzy Inference Systems (FIS) (Figura 1), que es una manera de representar conocimientos y datos inexactos en forma similar a como lo hace el pensamiento humano [5] también los FIS corresponden a las herramientas computacionales que permiten el manejo de vaguedades e incertidumbre con alto nivel de abstracción, pues entrega respuestas válidas a pesar de que la información suministrada al sistema sea incompleta [6].

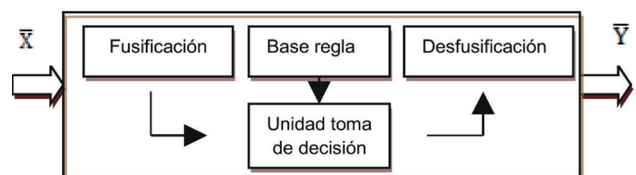


Fig. 1. Sistema Inferencia Difusa, Fuente: Sáenz, 1999

Los FIS más conocidos son: sistemas de inferencia Mamdani, Relacionales o Pedryckz y Takagi-Sugeno. Este artículo se concentra en los sistemas Mamdani, los cuales usan reglas “si entonces...” para realizar un mapeo de los conjuntos de entradas difusos en

los conjuntos de salidas de acuerdo con la lógica difusa [6]. Los principales componentes son:

- El fusificador tiene el efecto de transformar los datos concretos de la medición en valores lingüísticos apropiados.
- La base de reglas difusas almacena el conocimiento empírico de la operación del proceso.
- El defusificador se usa para producir una decisión no difusa o acción de control de una acción de control difusa inferida por la máquina de inferencia.

4. APLICACIÓN DE LÓGICA DIFUSA EN INDICADORES DE GESTIÓN Y BSC

Concalves (2008) utiliza dos indicadores de desempeño estratégicos que son analizados a través de la lógica difusa. El objetivo del modelo es utilizar las matemáticas borrosas para hacer proyecciones, convertir la visión y la estrategia en objetivos medibles para evaluar el desempeño; estas medidas se usan para diseñar una aplicación futura sobre las acciones que deben tomar los administradores para alcanzar los objetivos estratégicos. Valenzuela [7] diseñó un sistema de información integrado de gestión de indicadores con factor difuso para el mejoramiento continuo de los procesos en las empresas. El mismo autor plantea diseñar un sistema de información de indicadores para el mejoramiento continuo de la calidad de los procesos que manejen los aspectos blandos con técnicas de la lógica difusa.

Los autores Mallo et al [8], proponen la aplicación de matrices de incidencia borrosa para validar las relaciones entre los factores críticos de éxito y determinar los grados de incidencia directa e indirecta. En la implementación del BSC, se utilizaron matrices de incidencias para validar las relaciones causa-efecto entre indicadores. Mediante esta herramienta se comprueba el grado de corrección de las interrelaciones entre las variables determinadas por los expertos. Por su parte, Nissen [9] describió en su trabajo la importancia de los aspectos de la incertidumbre en el contexto del cuadro de mando mediante el estudio de los conjuntos difusos y su aplicación en esta herramienta. La investigación de Bodillo et al [10], añaden la semántica y la vaguedad al BSC y demuestran el éxito que tienen la lógica difusa en su tratamiento. Mallo et al [11], proponen la aplicación de la lógica difusa para la cuantificación de los factores críticos de éxito de medición subjetiva y su comparación con los objetivos propuestos. Así mismo, con el uso de

los intervalos de confianza y de etiquetas lingüísticas fundadas en la opinión de expertos, se evaluó el cumplimiento de los objetivos planteados para las perspectivas integrantes del BSC. Como resultado, las herramientas aportadas por la lógica difusa, no sólo permitieron realizar mediciones de variables cualitativas sino, también, hacer operaciones. De igual manera, por haber cuantificado estas variables, se opera con factores de diverso origen, e incluso sumar variables cuantitativas con cualitativas. Por último, Cogollo [12], desarrolló un modelo de medición del desempeño en cadenas de suministro en ambientes de incertidumbre y el cual fue aplicado a un astillero colombiano.

5. MODELO BSC CON APROXIMACIONES DIFUSAS

El modelo está basado en la distribución de energía, en la que se proponen los siguientes indicadores dentro de las perspectivas definidas por Kaplan y Norton [6]:

Perspectiva financiera

Entre los indicadores para esta perspectiva tenemos: el margen de utilidad y capitalización. El primero se define como la ganancia que puede obtener la organización a través de la eficiencia y eficacia de sus procesos. El segundo está relacionado con las inversiones que realiza la empresa para mejorar las condiciones generales de la organización.

Perspectiva del cliente

Se definieron los siguientes indicadores: la satisfacción de los clientes, calidad y continuidad del servicio.

Perspectiva de los procesos internos

Los indicadores relacionados son: pérdidas técnicas y no técnicas, productividad del proceso de distribución de energía eléctrica y optimización del control y mantenimiento. Las pérdidas técnicas están en relación con la energía que se disipa y que no puede ser aprovechada de ninguna manera. Las pérdidas no técnicas hacen alusión a pérdidas de energía por causas delictivas como conexiones clandestinas y la alteración del equipo de medida. Para el indicador de productividad se tomarán variables como la capacidad de distribución y optimización de los recursos, mientras que el indicador de mantenimiento está relacionado con su planeación y su ejecución.

Perspectiva de aprendizaje y crecimiento

Los indicadores que se utilizan dentro de la perspectiva aprendizaje y crecimiento interno son las siguientes: capacitación, competencias y crecimiento personal.

En la Figura 2 se muestran las relaciones de los indicadores de las perspectivas del BSC, que, a su vez, se integran para reflejar el nivel de satisfacción en relación con el desempeño organizacional; esta satisfacción puede estar directamente relacionada con el nivel de gestión que busca la empresa a partir de los procesos evaluados en el modelo BSC.

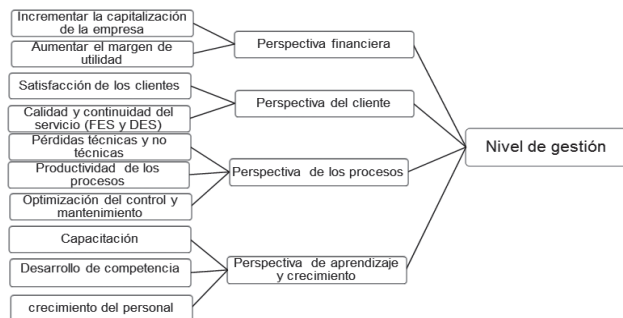


Fig. 2. Metodología del modelo de estudio. Fuente: Elaboración propia

a. TRATAMIENTO DIFUSO AL MODELO BSC

Para dar solución al sistema de indicadores, se desarrolló una metodología basada en el modelo Mamdani. Con este modelo, en la Figuras 3 se representan los indicadores como valores difusos, que deben ser agrupados de tal manera que generen un resul-

tado en relación con la perspectiva correspondiente. Este resultado será llamado Nivel de gestión de la perspectiva.

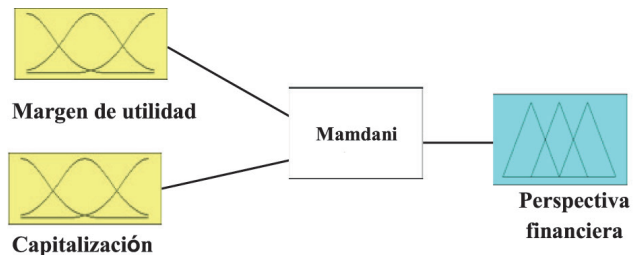


Fig. 3. Sistema de inferencia difusa de la perspectiva de finanzas. Fuente: Elaboración propia

El modelo desarrollado consta de dos fases: en la primera se seleccionaron los indicadores pertinentes a la distribución de la energía eléctrica, y su respectiva fusificación. Luego, se definieron las reglas difusas según el FIS tipo Mamdani y se combinaron los valores de los indicadores en cada perspectiva para proceder a defusificar los resultados con el método del centroide y obtener un valor de calificación de cada perspectiva. En la segunda fase se repitió el procedimiento anterior y se usaron, en lugar de indicadores, las cuatro perspectivas de salida obtenidas.

i. Descripción fase 1.

Los indicadores seleccionados y su respectiva función de pertenencias se muestran en la Tabla 1. Dicha función es de tipo triangular y está definida para los conjuntos Alto, Medio y Bajo.

Tabla 1. Indicadores de gestión y conjuntos difusos

Indicador	Alto	Medio	Bajo
Margen de utilidad	[6.16; 8.08; 10]	[3.44; 6.16; 8.88]	[2.0; 4.08; 6.16]
Capitalización	[209; 219; 230]	[197; 207; 217]	[191; 199; 205]
Calidad (FES y DES)	[0.62; 1; 1]	[0.28; 0.59; 0.9]	[0; 0.28; 0.56]
Satisfacción	[0.64; 1; 1]	[0.27; 0.59; 0.91]	[0; 0.27; 0.54]
Pérdidas no técnicas	[0.52; 0.76; 1]	[0.21; 0.47; 0.73]	[0; 0.21; 0.42]
Productividad	[0.6; 0.8; 1]	[0.25; 0.55; 0.85]	[0; 0.25; 0.5]
Mantenimiento	[0.39; 0.7; 1]	[0.18; 0.39; 0.57]	[0; 0.18; 0.36]
Capacitación	[0.78; 1; 1]	[0.28; 0.55; 0.82]	[0; 0.15; 0.3]

Para continuar con el desarrollo de la fase 1, se formularon las restricciones para cada perspectiva. En total 72, de las que se enseña una parte en la Tabla 2.

Tabla 2. Reglas difusas perspectiva financiera. Fuente: Elaboración propia

Margen de utilidad	Capitalización	Gestión financiera
Media	Bajo	Medio
Media	Medio	Medio
Media	Alto	Bajo

Para obtener los niveles de gestión de las 4 perspectivas se usó el método centroide con el que se obtiene un resultado no difuso para cada perspectiva (defusificación).

ii. Descripción de la etapa 2

Después de obtener los niveles de gestión en las cuatro perspectivas, se da inicio a la etapa 2, en la que se proponen los siguientes conjuntos difusos en relación con las perspectivas. (Tabla 3).

Tabla 3. Desfusificación de perspectivas

Perspectiva	Alto	Medio	Bajo
Financiera	[0.5; 0.8; 1; 1]	[0.2; 0.5; 0.8]	[0; 0; 0.2; 0.5]
Cliente	[0.5; 0.9; 1; 1]	[0.1; 0.5; 0.9]	[0; 0; 0.5; 0.9]
Procesos internos	[0.5; 0.9; 1; 1]	[0.1; 0.5; 0.9]	[0; 0; 0.1; 0.5]
Aprendizaje/Crecimiento	[0.5; 0.8; 1; 1]	[0.2; 0.5; 0.8]	[0; 0; 0.2; 0.5]

Algunas de las 81 reglas difusas usadas en la segunda etapa se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Reglas difusas etapa 2. Fuente: Elaboración propia

Aprendizaje y crecimiento	Procesos internos	Perspectiva clientes	Perspectiva financiera	Variable de salida
				Nivel de gestión
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Medio	Medio	Bajo
Bajo	Bajo	Alto	Alto	Medio
Bajo	Bajo	Medio	Bajo	Bajo
Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo

Igual que en la etapa anterior, la desfusificación se hará con el uso del método del centroide. El resultado obtenido a partir de la combinación de las perspectivas es un valor no difuso que facilita la toma de decisiones estratégicas en relación con la gestión organizacional.

Por último, se definieron las funciones de pertenencia y las etiquetas lingüísticas de los conjuntos difusos asociados al nivel de gestión, las cuales tienen tres categorías difusas (Bajo, Medio y Alto).

Clasificación: Bajo [0; 0; 0.2; 0.5], Medio [0.2; 0.5; 0.8], Alto [0.5; 0.8; 1 1]

b. APLICACIÓN DEL MODELO

Para la aplicación del modelo se utilizaron datos teóricos que posibilitaron la comprensión y el análisis del mismo.

i. Desarrollo etapa 1

En la tabla 5 se muestran los indicadores utilizados en cada perspectiva con su respectivo valor y fuente de información.

Tabla 5. Indicadores para utilizar en la aplicación del modelo etapa 1

Perspectiva	Indicador	Valor	Fuente
Financiera	Margen de utilidad	6,48%	Balance y los estados de resultados.
	Capitalización	14,3%	Balance y los estados de resultados.
Cliente	Calidad y servicio (FES y DES)	87%	Encuesta de satisfacción
	Satisfacción del cliente	95%	Encuesta de satisfacción
Procesos internos	Pérdidas técnicas y no técnicas	50%	Equipo de medición de energía
	Productividad	80%	Informe de distribución de energía
	Control y mantenimiento	85%	Informes de mantenimiento
Aprendizaje/ Crecimiento	Capacitación	35%	Pruebas psicotécnicas
	Competencias	4,25	Pruebas psicotécnicas
	Crecimiento personal	30%	Pruebas psicotécnicas

Consecuente con los datos anteriores se obtuvieron los niveles de gestión para cada perspectiva. (Ver figura 4). En la Tabla 6 se resumen los resultados de la primera etapa.

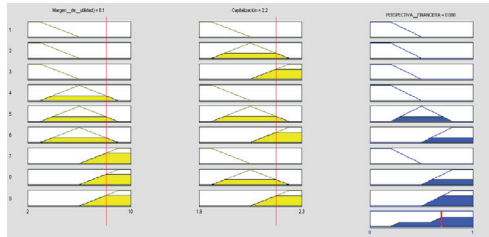


Fig. 4. Resultado de la relación de los indicadores y la perspectiva financiera

Tabla 6. Indicadores para utilizar en la aplicación del modelo etapa 2

Perspectiva	Nivel de gestión
Financiera	69,8%
Clientes	87,5%
Procesos internos	74.1%
Aprendizaje y crecimiento	45,8%

ii. Desarrollo etapa 2

Los niveles de gestión de cada perspectiva, obtenidos en el paso anterior, son el insumo principal para iniciar con la segunda fase. El resultado en el nivel de gestión es del 68%, lo que arroja información relevante que permite monitorear el comportamiento de los procesos que inciden en esta variable. Además, se facilita la toma de decisiones más acertadas y se mejoran las falencias de los procesos y aumenta el nivel competitivo de las organizaciones.

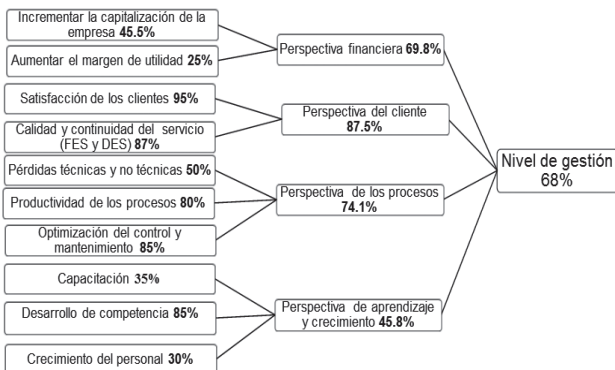


Fig. 5. Resumen de resultados

6. CONCLUSIONES

- Evaluar el nivel de gestión en una empresa es una tarea compleja y llena de subjetividades; sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio demuestran que se pueden tener mecanismos de fácil manejo como el Balance

Scorecard y la lógica difusa, los cuales posibilitan realizar un análisis de la información más acertado para la toma de decisiones.

- Los indicadores asociados con el desempeño de los empleados o la satisfacción de los clientes pertenecen al grupo de indicadores cuyo componente subjetivo es alto. Suele ser confuso y poco práctico el hecho de integrar este grupo de indicadores en un único modelo que permita tener una percepción más sistémica de la compañía.
- El modelo presentado en este artículo resulta ser útil y de fácil manejo. Los resultados obtenidos demuestran que esta integración es posible y que el 68% en el nivel de gestión, además de ser considerado alto o bajo, tiene una mayor validez por usar datos precisos y difusos para su cálculo, pero igualmente relevantes.

7. REFERENCIAS

- [1] Kaplan, R., & Norton, D. (1992). *Cuadro de Comando Integral* (The Balanced Scorecard). Barcelona, España: Ediciones Gestión 2000.
- [2] Vergara, H. (2005). *El Balanced Scorecard aplicado en áreas de indemnizaciones de seguros generales en aseguradora Colseguros S.A.* (Tesis para las Maestría en Administración. Escuela de Administración y Finanzas. Universidad de Eafit Medellín, Colombia).
- [3] Zadeh, L. (1975). Calculus of Fuzzy Restrictions. En L. Zadeh, K. Fu, K. Tanaka & M. Shimura (Eds.), *Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes* (pp 2-79). New York, Academic Press Inc.
- [4] Arango, M. Serna, A., & Pérez, G. (2008). Aplicaciones de lógica difusa a las cadenas de suministro. *Avance en Sistemas e Informática*, 5 (3), pp. 117-126.
- [5] Jang, J., Mizutani E., & Sun, C. (1997). *Neuro fuzzy and soft computing a computational approach to learning and machine intelligence*. New York: Prentice hall.
- [6] Correa, J. (2004). *Aproximaciones metodológicas para la toma de decisiones, apoyadas en modelos difusos* (Tesis para la Maestría en Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia).
- [7] Valenzuela, J. (2008). *Diseñando un sistema de información integrado de gestión de indicadores con "factor difuso" para el mejoramiento*

- continuo de los procesos*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
- [8] Mallo, P., Galantema, M., Pascual, M., Morettini, M., & Busetto, A. (2006). Aplicación de herramientas borrosas al balance Scorecard. *Revista Costos y Gestión*, 61, pp. 12-19.
- [9] Nissen, V. (2005). *Die fuzzy Balanced Scorecard*. Technical Report 2005-01, Technische Universität Ilmenau Germany, Institut für Wirtschaftsinformatik.
- [10] Bodillo, F., Delgado, M., Gómez, J., & López, E. (2009). A semantic fuzzy expert system for a fuzzy Balanced Scorecard. *Expert System with Application*, 36(1), pp. 427-433.
- [11] Mallo, P., Galantema, M., Pascual, M., Morettini, M., & Busetto, A. (2005, 16 de Noviembre). La medición de variables cualitativas en el Balance Scorecard. Un aporte de la lógica difusa. En "*Congreso metropolitano en Ciencias Económicas*", Ciudad de Buenos Aires, Argentina.
- [12] Cogollo, J. (2010). *Diseño metodológico para la implementación del sistema de indicadores de desempeño de la cadena de suministros en un astillero colombiano en condiciones de incertidumbre*. (Tesis para la Maestría en Ingeniería Administrativa, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia)