

## **GESTIÓN DINÁMICA DE PROYECTOS MEDIANTE LÓGICA FUZZY**

**HENRY ANTONIO MENDIBURU DÍAZ**  
*Ingeniero Electrónico, Magíster en Ingeniería de Control*  
*Director Ejecutivo – Kaynum Smart Solutions for Business*

**Este documento tiene por objetivo mostrar la importancia y las bondades que ofrece la lógica Fuzzy aplicada a los negocios, en el campo de la administración y gestión, para lo cual se plantea los fundamentos teórico-prácticos y generalidades concernientes a esta metodología, a fin de implementar un algoritmo de simulación de las estrategias concernientes a la toma de decisiones y al arte de gestionar proyectos, basado en la experiencia y conocimientos del ser humano canalizados a través de sistemas de inteligencia artificial.**

Dynamic Project Management using Fuzzy Logic. This paper have for object show us the importance and benefits offered by Fuzzy Logic in business administration and management fields, so inform about theoretical and practical generalities concerning to this methodology in order to implement an algorithm for simulation of decision-making and project management strategies, based on human being experience and knowledge, channelled through artificial intelligence systems.

### **1. INTRODUCCION**

La gestión de proyectos es el arte de planificar, coordinar, organizar, dirigir, y administrar recursos de tal manera que se pueda realizar un emprendimiento dentro del alcance, tiempo, y coste definidos, permitiendo resultados óptimos y satisfaciendo el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Cuando hablamos de una Gestión Dinámica nos referimos a la aplicación de una metodología sujeta a variables que puedan adaptarse al ambiente a fin de afrontar situaciones que afecten el desarrollo planificado inicialmente, y de esta manera poder lograr los resultados esperados. Una gestión dinámica requiere de la capacidad para tomar decisiones acorde con los cambios y nuevos retos planteados, en el menor tiempo posible y tratando de minimizar el riesgo, para lo cual se apoya en los conocimientos y experiencia del ser humano, así como en su capacidad de razonamiento.

La Lógica Fuzzy es una de las herramientas de la inteligencia artificial que utiliza la experiencia del ser humano para generar un razonamiento que permite la toma de decisiones. Mediante esta herramienta se puede representar un sistema de gestión a través de un modelo matemático no-lineal, para ello se hace uso de variables lingüísticas y una serie de condiciones o reglas previamente definidas.

Esta metodología trata de emular la experiencia adquirida por uno o más seres humanos a lo largo del tiempo, este sistema tendrá en su memoria una base de datos con múltiples soluciones a un mismo problema, luego el sistema tendrá que escoger de entre esas soluciones a la que mejor pueda aplicarse a fin de lograr los mejores resultados. La elección de la estructura de decisiones a seguir dependerá de las características del trabajo en donde se aplicará, además el sistema podrá ir aprendiendo con el tiempo y almacenar sus propias experiencias para lo cual se puede apoyar en algoritmos de redes neuronales y algoritmos genéticos.

Esta lógica puede usarse para explicar el mundo en el que vivimos, puesto que sigue el comportamiento humano de razonar, sacando conclusiones a partir de hechos observados. Su aplicación en la evaluación de estrategias de gestión empresarial permite simular el comportamiento de dichas estrategias (mediante un software), representando un escenario cuasi-real, pudiéndose de esta manera alterar parámetros y condiciones sin afectar el normal curso de un proyecto. Entre otras ventajas se puede simular el desarrollo del proyecto a fin de encaminarlo rumbo a la optimización social y económica esperada.

### **2. GENERALIDADES DE LA LÓGICA FUZZY**

La Lógica Fuzzy también es conocida como Lógica Difusa o Lógica Borrosa, y se basa en lo relativo de lo observado. En la lógica clásica (binaria o booleana) se tiene solo dos estados posibles: verdadero y falso (1 ó 0), en la lógica Multivaluada se incluyen sistemas lógicos que admiten varios valores de verdad posibles. En cambio en la lógica Difusa se asigna valores intermedios dentro de una escala a fin de cuantificar una incertidumbre. Por ejemplo según la lógica clásica solo podemos definir la temperatura como “fría” y como “caliente”, según la lógica difusa podemos asignar infinitos valores intermedios como “poco fría”, “templada”, “tibia”, “algo caliente”, etc.

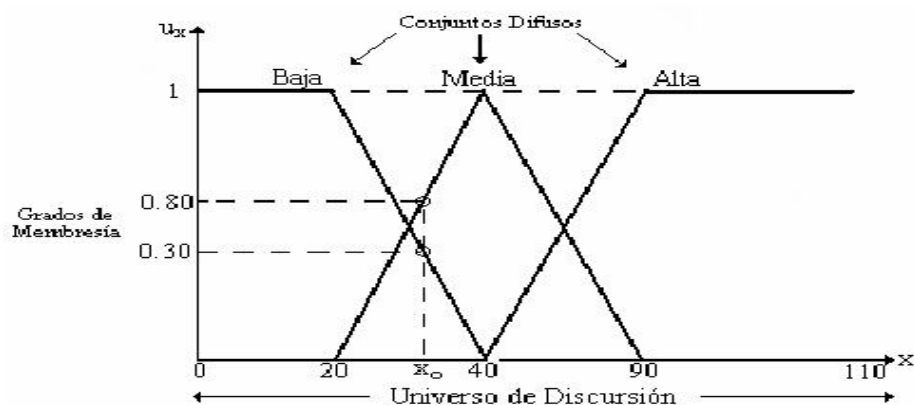
Para poder entender un proceso de gestión regido mediante una metodología basada en sistemas Fuzzy, debemos tener presente que la Lógica es la ciencia que enseña a razonar con exactitud, es el arte de pensar en concordancia con el entendimiento y el sentido común. Utilizando la lógica correcta se puede llegar a controlar un sistema, es decir establecer un conjunto de acciones que logren mantener una variable dentro de los patrones de funcionamiento deseados.

Todo sistema puede ser representado matemáticamente utilizando técnicas de identificación y parametrización de sistemas, dando lugar a un modelo matemático, cuyo comportamiento puede ser simulado y analizado empleando herramientas informáticas. Por tanto estamos en la capacidad de evaluar el desempeño de dicho conjunto de acciones a fin de establecer si su aplicación constituye la aplicación de la lógica correcta.

La Lógica Fuzzy utiliza la experiencia del ser humano para generar un conjunto de normas que permitan seguir una lógica de razonamiento, puede representar el modelo matemático de un sistema mediante el uso de variables lingüísticas y una serie de condiciones o reglas previamente definidas, sus algoritmos (reglas) hacen uso de instrucciones IF...THEN (SI...ENTONCES), por ejemplo: SI hay mucha demanda de mi producto ENTONCES aumentaré el precio.

Elementos:

- Variable Lingüística: Son variables evaluadas en un lenguaje natural y no corresponden a un valor numérico exacto. Las variables lingüísticas pueden descomponerse en términos lingüísticos. Ej. temperatura, conducta, posición, tamaño, ganancias, tiempo, etc.
- Universo de Discusión: Es el rango de toda la información necesaria para el comportamiento correcto de un sistema. Por ejemplo, "temperatura" en rango de 5 a 100 °C; "rentabilidad" en rango de 10% a 33%, etc.
- Término Lingüístico: Son los sub-conjuntos o las partes que puede dividirse una variable lingüística. Por ejemplo para la variable "tamaño" se puede tener los términos: alto, medio, bajo; para la variable "margen de utilidad" se puede tener los términos: esperado, apropiado, regular, deficiente, etc.
- Conjunto Difusos: Son formas geométricas que representan una función generada por un término lingüístico. Ellas elaborarán una salida intermedia en el sistema difuso. Pueden ser: triángulos, cuadrados, trapecios, campanas gaussianas, entre otros.
- Función de Membresía: La función de membresía es la agrupación de conjuntos difusos correspondientes a una sola variable lingüística, asociada a su grado de pertenencia o membresía dentro del intervalo 0 - 1.
- Fuzzificación: La fuzzificación es el proceso realizado para convertir un valor tradicional lógico, binario, decimal, y/o exacto, en un valor o cantidad difusa.
- Proceso de Inferencia: Es el proceso o metodología que se realiza para evaluar las normas, dado un conjunto de reglas (instrucciones SI...ENTONCES) se deben permitir determinar un resultado. Permite operar con conjuntos: Unión (OR), Intersección (AND), Complemento (NOT).
- Defuzzificación: Es el proceso inverso que el de la fuzzificación, es decir, es la acción de convertir un valor difuso en un valor exacto.



### **3. EVALUACIÓN, DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS**

Un proyecto es aquel emprendimiento conformado por un conjunto de acciones o actividades que podemos dividir en tareas que no sean cíclicas (repetitivas), que puedan caracterizarse con precisión, de duración determinada, formalmente organizadas y cuyas relaciones entre ellas sean conocidas. Los proyectos requieren la utilización de recursos (tiempo, dinero, recursos humanos, materiales, energía, espacio, provisiones, comunicación, calidad, riesgo, etc.); así mismo responde a objetivos que deben ser cumplidos dentro de parámetros definidos, por tanto un primer desafío de la gestión de proyectos es asegurarse de que el proyecto sea entregado dentro de los parámetros definidos; un segundo desafío es la asignación y la integración de los recursos a fin de cumplir esos objetivos predefinidos.

Todo proyecto tiene tres elementos diferentes que son necesarias armonizar para cumplir con los resultados deseados:

- Dimensión técnica: Se refiere al conjunto de conocimientos específicos de cada área de trabajo ("know how") requeridos para resolver el problema en cuestión o realizar la obra encomendada.
- Dimensión humana: Se refiere a las relaciones interpersonales y de negociación que se suscitan inevitablemente entre los agentes humanos que intervienen en la organización y ejecución de un proyecto.
- Variable gestión: Este hace referencia al conjunto de acciones que conforman la toma de decisiones para dirigir un proyecto particular.

La Evaluación de Proyectos consta de 3 etapas, una inicial cuando el proyecto es sólo una idea en la mente del emprendedor, una segunda cuando dicha idea se encuentra en plena ejecución, y una tercera cuando el proyecto ha sido culminado. La evaluación de proyectos es un proceso por el cual se determinan los cambios generados a partir de la comparación entre el estado actual y el estado previsto en su planificación; es decir, se intenta conocer qué tanto un proyecto ha logrado cumplir sus objetivos o bien qué tanta capacidad poseería para cumplirlos. En el proceso de análisis y evaluación de un proyecto se obtiene información estratégica que favorece la toma de decisiones, por lo cual se le considera como una actividad orientada a optimizar la gestión de proyectos puesto que promueve la optimización en la asignación de recursos.

La Dirección de Proyectos consiste en la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas en las actividades de un proyecto para satisfacer sus requisitos y alcanzar sus objetivos. La dirección de proyectos es una tarea que puede recaer sobre un equipo de trabajo, pero muchas veces, es responsabilidad de un solo individuo. Este individuo tiene por objetivo mantener el progreso y la interacción de los elementos, de manera que se disminuya el riesgo. El líder de proyecto debe ser capaz de visualizar el proyecto completo de principio a fin y tener la habilidad de asegurar que esa visión se haga realidad.

La Gestión consiste en determinar qué se debe hacer, cómo se debe hacer, quién es el responsable de que se haga, y por qué debe hacerse. La Gestión de Proyectos es el arte de planificar, coordinar, organizar, dirigir, y administrar recursos de tal manera que se pueda realizar un emprendimiento dentro del alcance, tiempo, y coste definidos, permitiendo resultados óptimos y satisfaciendo el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

La Gestión de Proyectos es la rama de la Ciencia de la Administración que trata de la planificación y el control de proyectos.

- Planificación: Planear la ejecución de un proyecto antes de su inicio.
- Control y Seguimiento: Medir el progreso del proyecto.

En la fase de ejecución de un Proyecto siempre se presentan alteraciones internas y externas por cuanto la Gestión debe estar preparada para aplicar una metodología sujeta a variables que puedan adaptarse al ambiente a fin de afrontar situaciones que afecten el desarrollo planificado inicialmente, y de esta manera poder lograr los resultados esperados. Una Gestión Dinámica es aquella capaz de tomar decisiones acorde con los cambios y nuevos retos presentados, en el menor tiempo posible y tratando de minimizar el riesgo.

La gestión de proyectos consta de las siguientes fases:

- Concepción y Planificación (definición de características, objetivos, cronogramas, esquemas, actividades, responsables, asignación de recursos, etc.)
- Ejecución y Comunicación (mantener informados a todos los participantes respecto a la evolución y desarrollo del proyecto)
- Seguimiento y Control (supervisar el cumplimiento de objetivos, recolección y análisis de datos, replanteo de estrategias a seguir, etc.)
- Análisis final (evaluación de los resultados esperados versus los resultados obtenidos)

La gestión de proyectos debe administrar los siguientes elementos:

- Propuesta Técnica-Económica, la cual describe los objetivos del proyecto, las actividades a realizar y cómo se llevarán a cabo.
- Planificación y Cronograma del proyecto, que se refiere a la identificación de actividades, hitos y tiempo de entregas del proyecto.
- Estimación de costos del proyecto. Es una actividad relacionada con la estimación de los recursos requeridos para llevar a cabo el plan del proyecto.
- Supervisión y revisión del proyecto. Referido a la dirección estratégica del proyecto y a los responsables de las actividades.
- Redacción y presentación de informes progresivos.

#### **4. SISTEMAS EXPERTOS EN LA FUZZIFICACIÓN DE VARIABLES**

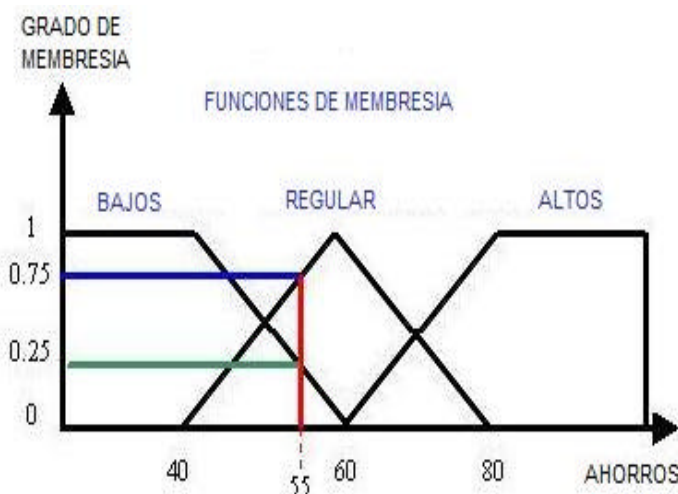
Un proceso de Fuzzificación es aquel que permite convertir una cantidad CRISP (valor tradicional lógico, binario, decimal, exacto) en un valor o cantidad difusa, asignándole un grado de membresía según un término lingüístico. Este proceso responde a un conjunto de normas preestablecidas, conceptualizadas a partir del conocimiento que brinda la experiencia humana canalizada a través de un sistema experto implementado vía software.

Un Sistema Experto es aquel que simula el comportamiento de un grupo de personas expertas en determinada materia, tienen por finalidad buscar una mejor calidad y rapidez en las respuestas dando así lugar a una mejora de la productividad del proyecto. Los sistemas expertos constan de una extensa base de datos alimentada con miles de reglas, luego de analizar de entre dichas reglas, selecciona la respuesta más apropiada para resolver determinada circunstancia. Los sistemas permiten proporcionar gran flexibilidad a la hora de incorporar nuevos conocimientos puesto que simplemente se programan nuevas normas en la base de datos.

Estructura básica del sistema:

- Base de conocimientos: Contiene la experiencia (conocimientos del experto) modelado mediante reglas.
- Base de hechos (Memoria de trabajo): Contiene los hechos sobre un problema particular que se ha suscitado durante el análisis.
- Motor de inferencia: Modela el proceso de razonamiento humano, es decir la estrategia de toma de decisiones.
- Módulos de justificación: Explica el razonamiento utilizado por el sistema para llegar a una determinada conclusión.
- Interfaz de usuario: Es la interacción entre el sistema y el usuario, se implementa vía software.

El proceso de Fuzzificación asigna características a las variables lingüísticas, dando lugar a "conceptos imprecisos" como por ejemplo: la temperatura está caliente, la inflación crece lentamente, las utilidades son buenas, la compañía exportó poco, etc. Así mismo estos conceptos se pueden asociar a un grado de membresía para determinar que tan compenetrado está una variable con una característica asignada difusamente.



Por ejemplo:

Contamos con la variable lingüística "ahorros" expresada en un universo de discusión (rango) de 0 a 100, expresada con términos lingüísticos "ahorros bajos", "ahorros regular", "ahorros altos", y con funciones de membresía tal cuales se muestran en el gráfico.

Se desea realizar la Fuzzificación (convertir a valor difuso) del valor "55":

Tal como se muestra en el gráfico este tiene un grado de membresía de:

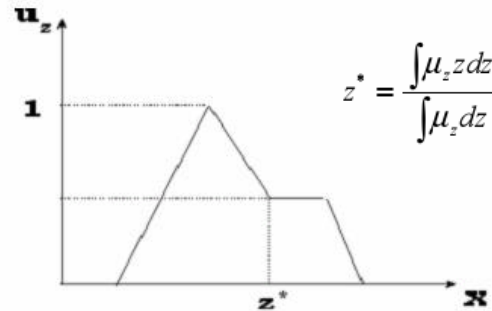
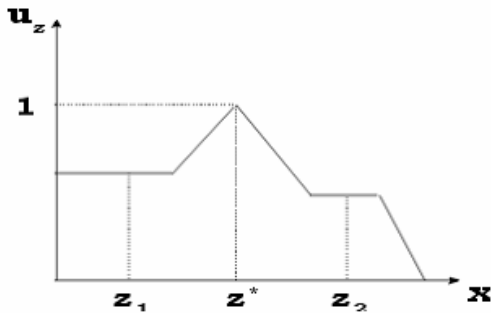
- 0.25 % de "ahorros bajos"
- 0.75 % de "ahorros regular"
- 0 % de "ahorros altos"

**5. MÉTODOS DE DEFUZZIFICACIÓN APLICADOS A LA GESTIÓN DE PROYECTOS**

Luego de realizado el Proceso de Inferencia (aplicación de normas para llegar a un resultado), se realiza el proceso de Defuzzificación, el cual es el proceso inverso que el de la fuzzificación, es decir, es la acción de convertir un valor difuso en un valor exacto. Hace uso de funciones matemáticas para determinar un valor, así tenemos:

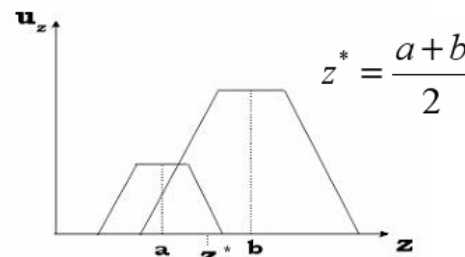
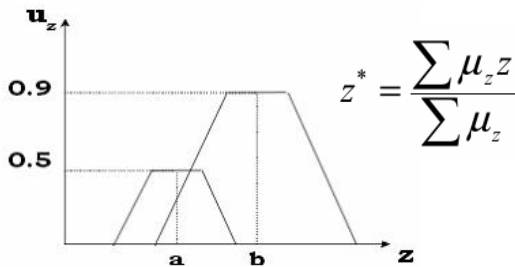
**Función de Máxima Membresía:** Es también conocido como el método de altura, la salida “crisp” es la máxima altura del conjunto difuso final.

**Método Centroide:** Llamado centro de área, centro de gravedad o método de Sugeno, es el método más usado y más potente.



**Método de Máximo Promedio Eficaz:** Utiliza el valor de la media eficaz del máximo. Se usa sólo para conjuntos difusos de salida simétricos.

**Método Máximo Medio:** Igual que el anterior, pero solamente saca la máximo medio como salida.



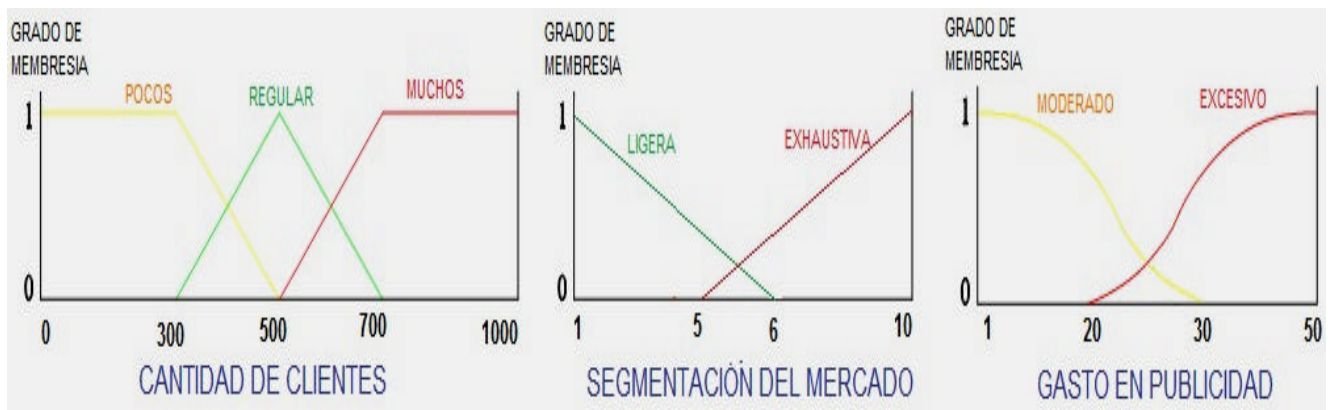
**6. CASO DE ESTUDIO: APLICACIÓN PRÁCTICA**

Una compañía en proceso de expansión hacia nuevos mercados desea gestionar mejor su gasto en publicidad y la segmentación del mercado a fin de obtener mayores clientes, se requiere diseñar un sistema basado en metodología Fuzzy a fin de simular distintos escenarios.

<u>Variable Lingüística</u>	<u>Términos Lingüísticos</u>	<u>Universo de Discursion</u>
Gasto en p ublicidad	Moderado Excesivo	1000 a 30000 U\$D mensuales 20000 a 50000 U\$D mensuales
Segmentación del mercado	Ligera Exhaustiva	1 a 6 patrones de segmentación 5 a 10 patrones de segmentación
Cantidad de clientes	Pocos Regular Muchos	0 a 500 clientes usuarios finales 300 a 700 clientes usuarios finales 500 a 1000 clientes usuarios finales

Variable de Entrada: Gasto en publicidad, Segmentación del mercado.  
Variable de Salida (resultado): Cantidad de clientes.

La elección de las Funciones de Pertenencia adecuadas tiene mucho que ver con la experiencia del programador combinada con los conocimientos del sistema experto, así tenemos:



Abreviando: Cantidad de clientes (CC), Segmentación del mercado (SM), Gasto en publicidad (GP).

CONJUNTO DE NORMAS y/o reglas basados en el conocimiento de la experiencia humana (sistema experto)

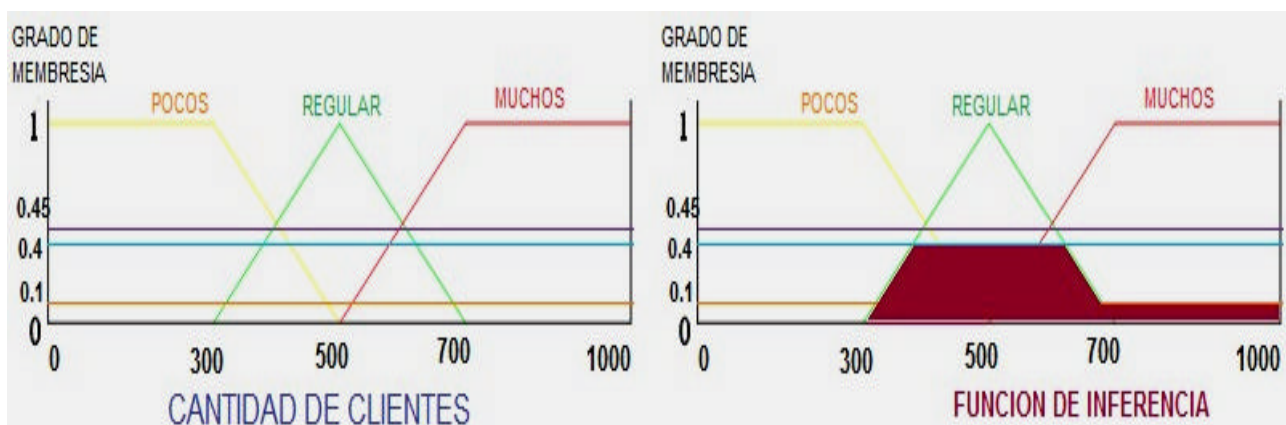
- |      |                |   |                  |          |               |
|------|----------------|---|------------------|----------|---------------|
| - SI | GP es moderado | y | SM es ligera     | ENTONCES | CC es pocos   |
| - SI | GP es moderado | y | SM es exhaustiva | ENTONCES | CC es regular |
| - SI | GP es excesivo | y | SM es ligera     | ENTONCES | CC es regular |
| - SI | GP es excesivo | y | SM es exhaustiva | ENTONCES | CC es muchos  |

SIMULACIÓN: Según los datos se conoce que el gasto de publicidad mensual es de U\$22mil y que se cuenta con 7 patrones de segmentación de mercado, se desea conocer la cantidad esperada de clientes finales.

Según el análisis, para un GP=22 le corresponde un grado de membresía "moderado" de 0.40 y "excesivo" de 0.10, del mismo modo para un SM=7 le corresponde un grado de membresía "exhaustiva" de 0.45.

Según el Análisis de Inferencia (aplicación de normas) se observa:

- Para un GP moderado 0.40 y SM exhaustiva 0.45, se obtiene un CC "regular" con 2 grados de membresía (0.40 y 0.45), interceptando los conjuntos el valor difuso resultante es 0.40.
- Para un GP excesivo 0.10 y SM exhaustiva 0.45, se obtiene un CC "muchos" con 2 grados de membresía (0.10 y 0.45), interceptando los conjuntos el valor difuso resultante es 0.10.



El resultado del Análisis de Inferencia es la función delimitada por la región sombreada en rojo tal como se muestra en la gráfica. A continuación se realiza el proceso de Defuzzificación, para lo cual haremos uso del método del Centroide (centro simétrico de una figura geométrica), calculando la función matemática se obtiene por resultado 566 clientes finales esperados.

(\*) Cabe señalar que un estudio real necesita contemplar una mayor cantidad de variables y términos lingüísticos, y por tanto contar con una base de datos de normas mucho más extensa, precisa y personalizada, para lo cual se requiere el apoyo de herramientas informáticas.

## **7. CONCLUSIONES**

Mediante el presente documento se planteó los conceptos y fundamentos que rigen la Lógica Fuzzy, así como también se pudo determinar las generalidades e importancia de una correcta gestión de proyectos, focalizando los esfuerzos en la optimización de una toma de decisiones acorde con los cambios e imprevistos que puedan surgir, brindando los conocimientos necesarios para responder positivamente en un corto tiempo minimizando el riesgo.

Del mismo modo se determinó la importancia del conocimiento humano en el desarrollo de la sociedad y más precisamente en la dirección de negocios, por tanto contar con un método capaz de almacenar dicho conocimiento en un base de datos y emular los razonamientos humanos a fin de someter las decisiones estratégicas a escenarios cuasi-reales, brinda la posibilidad para generar negocios exitosos. El empleo de algoritmos de inteligencia artificial implementados mediante herramientas informáticas trae consigo enormes ventajas frente a métodos tradicionales de toma de decisiones puesto que se minimiza el riesgo de experimentar en el terreno real y aumenta las habilidades de las personas encargadas de gestionar y dirigir proyectos.

Por medio del presente se logró mostrar las ventajas y aplicaciones de la lógica fuzzy en el campo de la administración, dirección, y gestión de negocios y proyectos en general, empleando un conjunto de normas almacenadas en sistemas expertos, brindando una metodología de fácil implementación, robusta en el tiempo, flexible a cambios y perturbaciones, escalable a nuevas implementaciones, capaz de ofrecer resultados certeros, y de ágil desempeño, entre otras.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- Bojadziev, G.; Bojadziev, M. (1997). “Fuzzy Logic for Business, Finance and Management”. World Scientific.
- De Cós, M. (1997). "Teoría General del Proyecto, Vol. I Dirección de Proyectos". Editorial Síntesis .
- Harvey, Robert L. (1994). “Neural network principles”. Prentice-Hall. Englewood Cliffs.
- Heredia, R. (1999). "Dirección Integrada de Proyectos". Editorial UPM - ETSII.
- Herrera, F.; Herrera-Viedma, E. (2000). “Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information”. Fuzzy Sets and Systems, vol. 115, pp.67-82.
- Kaufmann A.; Gil Aluja J. (1987). “Técnicas operativas de gestión para el tratamiento de la incertidumbre”. Editorial Hispano Europea.
- O. Cordón, F. Herrera, F. Hoffmann, L. Magdalena. (2001). “Genetic fuzzy systems. Evolutionary tuning and learning of fuzzy knowledge bases”. World Scientific
- Shtub, A. y otros. (2001). "Project Management, Engineering, Technology and Implementarion". Prentice Hall.
- Terceiro, J.B. (1996). "Sociedad Digital: del Homo Sapiens al Homo Digitalis". Editorial Alianza

---

All rights reserved – Copyright © Mg. Ing. Henry Mendiburu Díaz  
 Director Ejecutivo, Kaynum (Smart Solutions for Business) Corp.

<http://www.KAYNUM.com>

Kaynum es una empresa integradora de soluciones para el gerenciamiento de negocios y proyectos. Realiza estudios de consultoría y análisis de estrategias empresariales. Además brinda la provisión de recursos humanos necesarios para la dirección y desarrollo de proyectos de inversión.