

Aplicación de la lógica difusa compensatoria en el sector empresarial

Autores: Jesús Cejas Montero, Rafael Espín Andrade, Daniel Alfonso Robaina del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría

INTRODUCCIÓN

La *Lógica Difusa* (LD) surgió como consecuencia natural de la observación de que ciertas personas tienen suficiente habilidad para tomar decisiones correctas a partir de un conjunto de datos que están expresados lingüísticamente de forma vaga o imprecisa (difusas), casi siempre utilizando adjetivos o adverbios como mucho, alto, normal, muy, etc. Tales personas pueden controlar eficientemente un proceso tecnológico, diagnosticar una enfermedad a partir de síndromes y síntomas (el médico clínico) o tomar una decisión acertada en el mercado de valores [1].

La LD es un cuerpo teórico que pretende emular tales capacidades mediante su formalización. Esta constituye una rama de la *Inteligencia Computacional* que se funda en la incertidumbre, lo cual permite manejar información vaga o de difícil especificación si se quiere utilizar objetivamente esta información con un fin específico [2,3].

La LD permite implementar procesos de razonamiento por medio de reglas y predicados que generalmente se refieren a cantidades indefinidas o inciertas [4]. Estos predicados pueden obtenerse con sistemas que “aprenden” al “procesar” datos reales o pueden también ser formulados por un experto humano o, mejor aún, por el consenso entre varios de ellos.

Sin embargo, en este enfoque se recomienda el uso de reglas poco complejas; la selección pragmática de operadores, que en combinación con la

defuzzificación, sólo permite buenos resultados con reglas simples [5,6]. La *Lógica Difusa Compensatoria* (LDC) constituye una Lógica Multivalente que supera estas dificultades. El presente artículo tiene como objetivo describir las principales características de la LDC y ejemplificar con un caso de estudio su aplicación en el sector empresarial.

LA LÓGICA DIFUSA COMPENSATORIA

La LDC constituye una rama de la *Lógica Difusa*. Se trata de un nuevo sistema multivalente que rompe con la axiomática tradicional de este tipo de sistemas para lograr un comportamiento semánticamente mejor a los sistemas clásicos [7]. La LDC ha sido utilizada en el sector empresarial en diversos países como Alemania, España, Argentina, Brasil y Cuba. Se destacan aplicaciones recientes en este ámbito en la selección de proveedores, soluciones clásicas de juegos cooperativos n-personales y para determinar la confiabilidad de una empresa en términos económicos.

La LDC utiliza la escala de la LD, la cual puede variar de 0 a 1 para medir el grado de verdad o falsedad de sus proposiciones, donde las proposiciones pueden expresarse mediante predicados (Ver Tabla 1). Un predicado es una función del universo X en el intervalo $[0; 1]$, y las operaciones de conjunción (\wedge), disyunción (\vee), negación (\neg) e implicación (\rightarrow), se definen de modo que restringidas al dominio $[0; 1]$ se obtenga la Lógica Booleana.

Valor de Verdad	Categoría
0	falso
0,1	casi falso
0,2	bastante falso
0,3	algo falso
0,4	más falso que verdadero
0,5	tan verdadero como falso
0,6	más verdadero que falso
0,7	algo verdadero
0,8	bastante verdadero
0,9	casi verdadero
1	verdadero

Tabla 1: Valores de Verdad

En los procesos que requieren toma de decisiones, el intercambio con los expertos lleva a obtener formulaciones complejas y sutiles que requieren de predicados compuestos. Los valores de verdad obtenidos sobre estos predicados compuestos deben poseer sensibilidad a los cambios de los valores de verdad de los predicados básicos.

Esta necesidad se satisface con el uso de la LDC, que renuncia al cumplimiento de las propiedades clásicas de la conjunción y la disyunción, contraponiendo a éstas la idea de que el aumento o disminución del valor de verdad de la conjunción o la disyunción provocadas por el cambio del valor de verdad de una de sus componentes, puede ser “compensado” con la correspondiente disminución o aumento de la otra. Esta noción hace que la LDC sea una lógica sensible. Existen casos en los que la compensación no es posible. Esto ocurre cuando son violados ciertos umbrales y existe un veto que impide la compensación.

Estas propiedades hacen posible

Colaboración

de manera natural el trabajo de traducción del lenguaje natural al de la lógica, incluidos los predicados extensos si éstos surgen del proceso de modelación.

En la LDC, el operador *conjunción*, expresado como *c* (and) es la media geométrica [8]:

$$c(p_1, p_2, \dots, p_n) = (\mu_{p_1} \times \mu_{p_2} \dots \times \mu_{p_n})^{1/n}$$

La *disyunción* *d* (or), es el operador dual de la media geométrica, que garantiza el cumplimiento de las reglas de **De Morgan** [17]:

$$d(p_1, p_2, \dots, p_n) = 1 - [(1 - \mu_{p_1})(1 - \mu_{p_2}) \dots (1 - \mu_{p_n})]^{1/n}$$

En ambas ecuaciones se denota, para simplificar la notación, como:

$$\mu_{p_1}(x, y) = v(P_1), \mu_{p_2} = v(P_2), \dots, \mu_{p_n} = v(P_n)$$

a los valores de verdad de los predicados P_1, P_2, \dots, P_n .

También se define la *negación* *n* (not), como la función: $n(p) = 1 - \mu_p$.

La implicación, con propiedades más deseables, es la implicación de **Zadeh** generalizada: $i(p, q) = d[n(p), c(p, q)]$ aunque ha sido estudiada también la implicación siguiente:

$$i(p, q) = d[n(p), q].$$

La equivalencia, es definida a partir del operador *i* como:

$$e(p, q) = c[i(p, q), i(q, p)]$$

Los modificadores más utilizados son funciones de la forma $f(x) = x^a$ donde *a* es un exponente mayor o igual que cero. Suelen utilizarse por ejemplo los exponente 2 y 3 para modelar las palabras muy e hiper, y el exponentes 1/2 para modelar las palabras algo y más o menos [9].

CASO DE ESTUDIO

En la actualidad han disminuido las ventas en la pequeña y mediana empresa de comercio minorista como consecuencia de la crisis financiera internacional. Ante esta situación una gestión de merchandising eficiente en este tipo de organización permite lograr el difícil objetivo de satisfacer las necesidades de los clientes obteniendo beneficios aún en un entorno hostil.

El *Merchandising* es todas las acciones destinadas a aproximar el

producto al consumidor en el punto de venta, con el fin de conseguir una mayor rotación del producto. El diseño de la arquitectura de un establecimiento es un aspecto importante en la gestión de *Merchandising* de cualquier formato comercial.

Estos aspectos son determinados, principalmente, por expertos que tienen suficiente habilidad para tomar decisiones correctas a partir de un conjunto de datos que están expresados lingüísticamente de forma vaga o imprecisa casi siempre utilizando adjetivos o adverbios como mucho, alto, normal, muy, etc.

Por ejemplo, estos expertos pueden determinar si las vidrieras exteriores de una tienda son muy impactantes como para captar la atención de los transeúntes o si la disposición del mobiliario crea una atmósfera que permita establecer una óptima relación entre el consumidor y el formato comercial.

El presente caso tiene como objetivo describir un modelo capaz de ordenar un conjunto de tiendas con respecto a su gestión del *merchandising*. En su construcción participaron como expertos, especialistas de la corporación *CIMEX S.A* y del *Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría* de la Habana.

A continuación aparecen las formulaciones verbales y su traducción al lenguaje del Cálculo de Predicados:

Una tienda gestiona eficientemente el *merchandising*, si cumple los siguientes requisitos:

- Su Gestión de Inventario es competitiva.

Una tienda tiene una Gestión de Inventario competitiva si posee una Rotación Normal, tiene un buen ritmo de crecimiento de rotación y una cobertura de inventario apropiada.

- Su mezcla de mercancía está posicionada muy sólidamente mercado.

Una mezcla de mercancía esta posicionada sólidamente en el mercado, si tiene en cuenta el comportamiento de su clientela clave y posee una cuota significativa del mercado.

- Su imagen exterior invita al transeúnte a entrar.

Su imagen exterior invita al transeúnte a entrar si posee una vitrina impactante, una entrada que facilita el ingreso y un acceso adecuado a la tienda.

- Posee una buena gestión del área de ventas.

Una tienda posee una buena gestión del área de ventas si posee un buen espacio destinado a las ventas y si tiene pocas pérdidas en ventas por no estar el producto en exposición y una buena utilización del lineal. En el caso de que poseyera poco espacio destinado a las ventas debe ser compensado con una muy buena utilización del lineal o muy pocas perdidas en ventas por no estar el producto en exposición

A continuación se definen predicados simples:

R(X): "x es una tienda con rotación normal de inventario"

C(X): "x es una tienda con un buen ritmo de crecimiento de rotación de inventario"

CI(X): "x es una tienda con una apropiada cobertura de inventario"

M(X): "x es una tienda con una posee una cuota significativa del mercado"

CC(X): "x es una tienda que conoce el comportamiento su clientela clave"

V(X): "x es una tienda que posee una vitrina impactante"

I(X): "x es una tienda que tiene una entrada que facilita el ingreso"

A(X): "x es una tienda con un acceso adecuado a la misma"

E(X): "x es una tienda con un buen espacio destinado a las ventas"

P(X): "x es una empresa que tiene pocas pérdidas en ventas"

L(X): "x es una tienda con una buena utilización del lineal".

Los predicados compuestos se definen como:

GM(X): "x es una tienda gestiona eficientemente el merchandising" (Predicado final a evaluar)

GI(X): "x es una tienda con una Gestión de Inventario competitiva"

MM(X): "x es una tienda Mezcla de Mercancía que está

posicionada muy sólidamente mercado”

IE(X): “x es una tienda con una imagen exterior invita al transeúnte a entrar”

GA(X): “x es una tienda con una buena gestión del área de ventas”.

Entonces el modelo es el siguiente **predicado compuesto**:

$$GM(X) = GI(X) \wedge MM(X)^2 \wedge IE(X) \wedge GA(X)$$

Dónde:

$$GI(X) = R(X) \wedge C(X) \wedge CI(X)$$

$$MM(X) = M(X) \wedge CC(X)$$

$$IE(X) = V(X) \wedge I(X) \wedge A(X)$$

$$GA(X) = E(X) \wedge P(X) \wedge L(X) \wedge (\neg E(X))^{0,5} \rightarrow P(X)^2 \vee L(X)^2$$

(Como se observa se utilizó el exponente 2 para modelar la palabra muy y 0.5 para modelar la palabra poco).

En la Figura 1 se ilustra el modelo a través de un árbol lógico. En él se define los predicados simples y compuestos.

Con los valores de verdad de los predicados simples se procede a calcular los valores de verdad de los predicados compuestos GI(X), MM(X), IE(X) y GA(X) para

determinar finalmente el grado de verdad de GM(X). Así, un conjunto de tiendas se podría ordenar según estos grados de verdad para determinar un ranking de “tiendas competitivas” de mayor a menor.

Dentro del comercio minorista, se estudió este sector en Cuba. El cual está integrado por un conjunto de redes de tiendas. Estas operan de forma simultánea y competitiva pues pertenecen a diferentes cadenas de tiendas que emplean formas comerciales modernas que van desde kioscos para dar respuesta a necesidades muy locales, hasta las grandes tiendas por departamento para vastos grupos de consumidores. Entre estas cadenas sobresalen tres por sus

volúmenes de venta y cobertura en la isla: Panamericanas, Habaguanex, TRD Caribe y Caracol. Estas cadenas juntos con otras existentes en el país han logrado rescatar la actividad de comercio minorista, asimilando y desarrollando formas actuales del comercio internacional.

A continuación se presentan los valores de verdad del predicado GM para las cuatro cadenas de tiendas obtenidos al aplicarles el modelo descrito en la Figura 1 así como su orden (ranking) de acuerdo a la gestión eficiente del merchandising:

A partir de los cálculos además de obtener un orden en función de su gestión de *merchandising* de las de las Cadenas de Tiendas, es posible

Cadenas de Tiendas	Valores de Verdad de GM	Categoría	Ranking
Panamericana	0.6021	más verdadero que falso	1
Habaguanex	0.4713	más falso que verdadero	2
Caracol	0.4601	más falso que verdadero	3
TRD Caribe	0.3593	algo falso	4

Tabla 2: Evaluaciones de las cuatro cadenas de tiendas de acuerdo a su gestión del Merchandising.

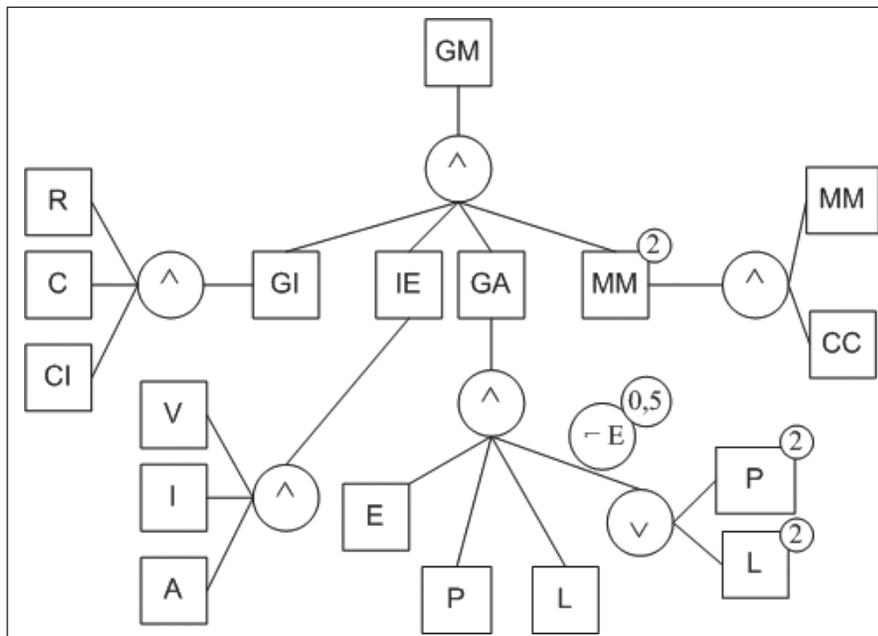


Figura 1: Modelo para ordenar un conjunto de tiendas con respecto a su gestión del Merchandising.

inferir que la Cadena Panamericana es competitiva porque su valor de eficiencia es mayor que 0.5, mientras que TRD, Caracol y Habaguanex y TRD Caribe no lo son porque su competitividad es por el contrario menor que ese valor. Se hace necesario destacar que:

- Se utilizaron funciones de pertenencia sigmoideas que en el caso de funciones crecientes o decrecientes son recomendadas en la literatura por consideraciones teóricas [9]. Ciertos parámetros de estas funciones quedan determinados fijando las preimágenes de dos valores.
- Los valores de verdad se obtuvieron o bien directamente a través de la evaluación de expertos debidamente informados, o a

través de funciones de pertenencia sobre datos numéricos en los predicados que esto fue posible.

- El uso de condicionales permitió, incrementar las exigencias de un predicado simple partiendo del estado de otro. Ello podría describir, situaciones de dependencia preferencial.
- La implicación utilizada en los cálculos fue $i(p,q) = d[n(p),c(p,q)]$, que es considerada que posee un mejor comportamiento.

En la actualidad existe un Sistema de Soporte a Decisiones Basado en Árboles con Operadores de Lógica Difusa cuyo nombre es *Fuzzy Tree Studio 1.0* desarrollado en la *Universidad de Mar del Plata*, Argentina que posee un módulo que trabaja con la LDC. Ello permite al empresario despreocuparse por el trasfondo matemático y centrarse en la formulación verbal del modelo que le permita tomar una decisión.

CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un nuevo enfoque para los sistemas multivalentes llamado *Lógica Difusa Compensatoria* basado en la media geométrica que, además de aportar un sistema formal con propiedades lógicas, constituye un puente entre la lógica y

la toma de decisiones. La LDC entra a formar parte del arsenal de métodos para la evaluación multicriterio, adecuándose especialmente a aquellas situaciones en que el empresario puede describir verbalmente, frecuentemente en forma ambigua, la heurística que utiliza cuando ejecuta acciones de evaluación/clasificación multicriterio. Sin embargo, la consistencia de e plataforma lógica dota a esta propuesta de una capacidad de formalización del razonamiento que rebasa los enfoques descriptivos de los procesos de decisión. Es una oportunidad para usar el lenguaje como elemento clave de comunicación en la construcción de modelos semánticos que faciliten la evaluación, la toma de decisiones y el descubrimiento de conocimiento.

PARA SABER MÁS

- [1] Hernández M. "Aclarando la lógica borrosa (Fuzzy Logic)". *Revista Cubana de Física*. 2003, Vol. 20, Nº 2, p. 135-139.
- [2] Kecman V. *Learning and Soft Computing-Support Vector Machines, Neural Networks and Fuzzy Logic Models*. Massachusetts: The MIT Press., 2001. ISBN: 0-2621-1255-8.
- [3] Bonissone P. "Soft computing: the convergence of emerging reasoning technologies". *Soft Computing*. 1997, Vol. 1, Nº 1, p. 6-18. ISSN 1432-7643 (print version), ISSN 1433-7479 (electronic version).
- [4] Zadeh L. "Fuzzy Sets". *Information and Control*. 1965, Vol. 8, p.338-35. ISSN: 0019-9958.
- [5] Passino K, Yurkovich S. *Fuzzy Control*. Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., 1998. ISBN: 9780201180749.
- [6] Zimmermann H J. *Fuzzy Set Theory and Its Applications*. 4a edición. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. ISBN 9780792374350.
- [7] Espín R, Vanti, A. "Administración Lógica: Un estudio de caso en empresa de comercio exterior". *Revista Base*. 2005, Vol. 2, Nº 2, p. 69-77. ISSN: 1984-8196.
- [8] Espín R, Fernández E, González, E. *Un sistema lógico para el razonamiento y la toma de decisiones: la Lógica Difusa Compensatoria basada en la media geométrica*. *Revista de Investigación Operacional*. 2011, Vol. 32, Nº 3, p. 230-245.
- [9] Dubois D, Prade H M. "A review of fuzzy set aggregation connectives" *Information Sciences*. 1985, Vol. 36(1-2), p.85 -121. ISSN: 0020-0255.

Se investiga la pirólisis de los desechos de calzado

Fuente: OPTI

España produce al año alrededor de 16.500 toneladas de residuos de piel curtida según estudios de las patronales españolas de curtidos y calzado. El consumidor, por su parte, compra del

orden de 68.000 pares de zapatos de piel cada año que se traducen en otras 17.000 toneladas de residuos.

Para solucionar este problema, *Inescop* junto con el departamento de Ingeniería Química de la *Universidad de Alicante*, ha desarrollado una técnica de pirólisis capaz de convertir los desechos de fábricas de zapatos

y tenerías en un bioaceite útil como carburante. Actualmente la mayor parte de este tipo de residuos se almacena en vertederos junto a otros desperdicios urbanos que, en ocasiones, generan unos líquidos residuales con alto porcentaje de contaminantes peligrosos como puede ser el cromo. ■