

# Lógica Difusa

Salas Gonzales Ana G.  
ana\_\_gsg@hotmail.com

## RESUMEN

Hacemos una presentación elemental de la lógica difusa. Introducimos la noción de conjuntos difusos para luego presentar diversos cálculos proposicionales de tipo difuso. Las lógicas difusas se han desarrollado rápidamente debido a sus potencialidades de aplicación, entre otras muchas áreas, en el diseño de controladores electrónicos. En este texto presentamos los conceptos básicos e invitaremos al lector a introducirse con mayor profundidad en estos temas a través de lecturas suplementarias.

La **lógica borrosa o difusa** se basa en lo relativo de lo observado así. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí. Así, por ejemplo, una persona que mida 2 metros es claramente una persona alta, si previamente se ha tomado el valor de persona baja y se ha establecido en 1 metro. Ambos valores están contextualizados a personas y referidos a una medida métrica lineal.

## Palabras Clave

Sistemas expertos, algoritmo, lógica booleana, eficiencia

## 1. INTRODUCCION

El mundo es un lugar borroso. Si combinamos el término "fuzzy" (borroso) con "lógica de eventos discretos" se consigue una contradicción de ideas. Pero la mayoría de los fenómenos que encontramos cada día son imprecisos, es decir, tienen implícito un cierto grado de difusidad en la descripción de su naturaleza, ya que ellos se describen de una manera cualitativa y no cuantitativa. Esta imprecisión puede estar asociada con su forma, posición, momento, color, textura o incluso en la semántica que describe lo que son.

En muchos casos el mismo concepto puede tener diferentes grados de imprecisión en diferentes contextos o tiempo. Un día cálido en invierno no es exactamente lo mismo que un día cálido en primavera, en una región dada. La definición exacta de cuándo la temperatura va de templada a caliente es imprecisa -no podemos identificar un punto simple de templado, tal que emigrando un simple grado la temperatura del ambiente sea considerada caliente. Este tipo de imprecisión o difusidad asociado continuamente a los fenómenos, es común en todos los campos de estudio: sociología, física, biología, finanzas, ingeniería, oceanografía, psicología, etc.

La Lógica Difusa (LD) es particularmente útil en **sistemas expertos** y otras aplicaciones de inteligencia artificial. La LD, que hoy en día se encuentra en constante evolución, nació en los años 60's del siglo pasado, como la lógica del razonamiento aproximado. La Lógica Difusa actualmente está relacionada y fundamentada en la teoría de los Conjuntos Difusos. Según esta teoría, el grado de pertenencia de un elemento a un conjunto va a venir determinado por una función de pertenencia, que puede

tomar todos los valores reales comprendidos dentro del intervalo  $[0,1]$ .

## 2. MARCO TEORICO

Esta simple idea nació en un artículo de Lotfi A. Zadeh publicado en 1965 y titulado "Fuzzy Sets" (*Conjuntos Difusos*). La lógica difusa permite representar de forma matemática conceptos o conjuntos imprecisos, tales como días fríos, meses calurosos, personas altas, salarios bajos, guisos con mucho condimento, profesores poco valorados, etc.

Pero hay que tener en cuenta que la idea en sí de que las cosas no son blancas o negras, sino que existen infinitos matices de grises viene ya desde la época de los primeros grandes filósofos como Platón.

Posteriormente a ellos, otros grandes pensadores como David Hume o Kant apoyaban esta idea manteniendo que el razonamiento venía dado por las observaciones de las que somos testigos a lo largo de nuestra vida y la detección de algunos principios contradictorios en la lógica clásica.

Tras la publicación de Lotfi A. Zadeh, se comenzó rápidamente a usar la lógica difusa en distintas aplicaciones prácticas, llegando a su máximo auge a principios de los años 90, y continuando éste hasta la época actual.

A concepto de Delgado [1998] es la segunda herramienta que permite emular el razonamiento humano. Los seres humanos pensamos y razonamos por medio de palabras y en grados entre dos estados por ejemplo blanco y negro ó frío y caliente, etc. Estos sistemas de lógica difusa son una mejora a los sistemas experto tradicionales, en el sentido de que permiten utilizar lenguaje humano como nosotros razonamos

Ya hablando de sistemas expertos tradicionales, estos intentan reproducir el razonamiento humano de forma simbólica. Es un tipo de programa de aplicación informática que adopta decisiones o resuelve problemas de un determinado campo, como los sistemas de producción, las finanzas o la medicina, utilizando los conocimientos y las reglas analíticas definidas por los expertos en dicho campo. Los expertos solucionan los problemas utilizando una combinación de conocimientos basados en hechos y en su capacidad de razonamiento. En los sistemas expertos, estos dos elementos básicos están contenidos en dos componentes separados, aunque relacionados: una base de conocimientos y una máquina de deducción, o de inferencia. La base de conocimientos proporciona hechos objetivos y reglas sobre el tema, mientras que la máquina de deducción proporciona la capacidad de razonamiento que permite al sistema experto extraer conclusiones. Los sistemas expertos facilitan también herramientas adicionales en forma de interfaces de usuario y los mecanismos de explicación. Las interfaces de usuario, al igual que en cualquier otra aplicación, permiten al usuario formular consultas, proporcionar información e interactuar de otras formas con el sistema. Los mecanismos de explicación, la parte más fascinante de los sistemas expertos, permiten a los sistemas explicar o justificar sus conclusiones, y también posibilitan a los

programadores verificar el funcionamiento de los propios sistemas. Los sistemas expertos comenzaron a aparecer en la década de 1960. Sus campos de aplicación son la química, la geología, la medicina, la banca e inversiones y los seguros. A experiencia de uno de los autores, el hardware en que se fundamentan estos sistemas que son circuitos integrados digitales son muy eficaces y de durabilidad de por vida si se les da correcto uso.

### 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

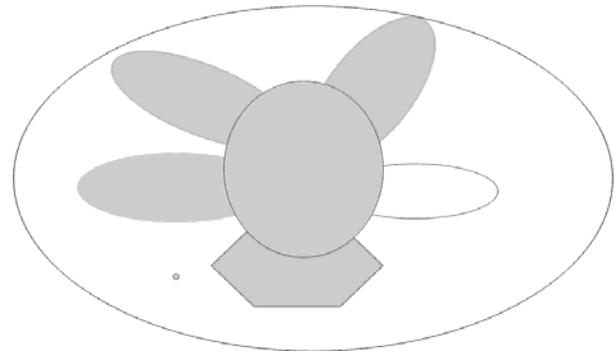
En la vida cotidiana se utilizan palabras para describir variables, por ejemplo cuando se dice hoy hace calor es equivalente a decir la temperatura actual es alta, se utiliza la palabra alta, para describir la temperatura actual, esto es, la variable temperatura actual toma la palabra alta como su valor, que también puede tomar algún número por ejemplo 28°C. Cuando una variable toma números como sus valores, se tiene un marco de trabajo bien formulado matemáticamente, pero cuando una variable toma palabras como sus valores no se tiene un marco de trabajo formal matemáticamente, de aquí que el concepto de variable lingüística se introduce, si una variable puede tomar palabras en lenguaje natural como sus valores, esta es llamada variable lingüística [JS96].

**Variable lingüística:** Es aquella variable de lenguaje natural caracterizada por los conjuntos difusos definidos en el universo del discurso en la cual se encuentra definida.

El concepto de variable lingüística es importante porque son los elementos fundamentales de la representación del conocimiento humano respecto de su entorno. Cuando se utilizan sensores para medir una variable, estos entregan un valor numérico como salida, cuando se le pregunta a un experto humano para que evalúe una variable, ellos entregan palabras como salidas, de aquí que a partir del concepto de variables lingüísticas se pueden formular descripciones por medio del lenguaje natural en relación a términos matemáticos precisos.

Por medio de la LD se pueden tener variables lingüísticas tales como “caliente”, “frío”, “tibio” respecto de la temperatura que tiene un calentador de agua: para nosotros representa diferentes niveles de confort de acuerdo a la época del año y a la región del planeta en que estemos, pero para un computador representa un conjunto de intervalos en los que se clasifica un grupo de respuestas y así un grupo de acciones que sobre esa información desarrolla el microcontrolador o microprocesador a través del conocimiento (información almacenada, que se interpreta como caliente para cada una de las variables lingüísticas que maneja el calentador en relación al usuario en época del año y región del planeta en donde se encuentre). De esa forma, se busca tener sistemas que puedan interactuar de una manera casi humana en las expresiones usadas en el lenguaje natural. Desde el punto de vista del desarrollador de sistemas, del especialista en control, mecatrónica, robótica entre otras áreas, se logra la cuantificación de las respuestas del usuario conforme a las variables lingüísticas preestablecidas para la interacción hombre – máquina, con las cuales, se genera la base del conocimiento. Que hasta ahora se usan de una manera amigable en electrodomésticos tales como las lavadoras, refrigeradores, calentadores microondas, etc.

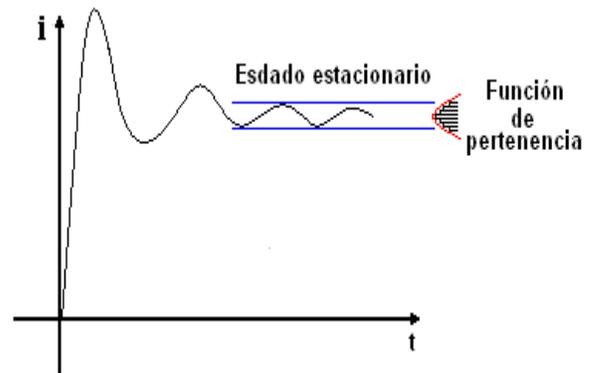
De acuerdo a Zadeh, un objeto puede ser un elemento parcial de un conjunto, como puede verse en la Figura 1.



**Figura 1.** Múltiples objetos dentro de un universo forman un conjunto que puede ser otro objeto o una cualidad común entre ellos.

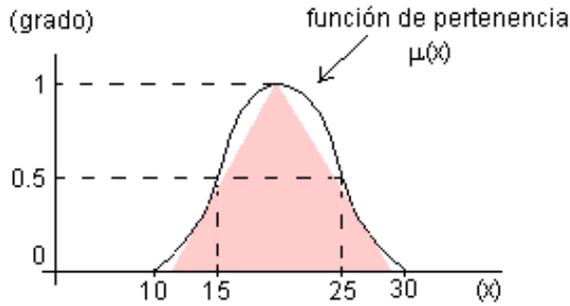
Un ejemplo para describir la Figura 1, es la de cómo se forma una silla de madera con barniz: Una silla de madera barnizada está formada por madera, resistol, tintes, asiento, respaldo y diseño. Podemos decir que no todos los diseños son para sillas, no toda la madera son para las sillas, no todos los respaldos son para sillas, no todos los asientos son para sillas, pero parcialmente todos ellos sí, que es el conjunto que tiene parcialmente contenidos objetos o entidades con propiedades que en muchos de los casos son completamente diferentes tener sí, pero que forman parte del nuevo conjunto, que en este caso, son las sillas de madera barnizadas.

Ahora si esta teoría de conjuntos difusos se aplica a un ejemplo como la señal de consumo de un motor eléctrico, se obtiene un ejemplo más claro y tangible ya que de ahí se desprende la teoría de conjuntos, descrito de la manera siguiente; si la respuesta en el estado estacionario del motor se tomaran intervalos en los cuales hay diferentes funciones de pertenencia obsérvese la Figura 2., se obtiene una función de pertenencia la cual se observa en la Figura 3.



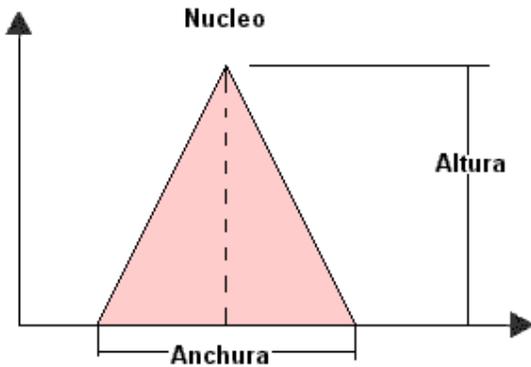
**Figura 2** Señal del motor donde se obtiene la función de pertenencia

El grado de pertenencia de un elemento u objeto a un conjunto va a venir determinado por una función de pertenencia, que puede tomar todos los valores reales comprendidos dentro del intervalo [0,1] por centiles, deciles entre otros, de acuerdo a una función, la cual puede ser una función de distribución, desde el punto de vista de probabilidad, entre otro tipo de funciones (ver la Figura 4).



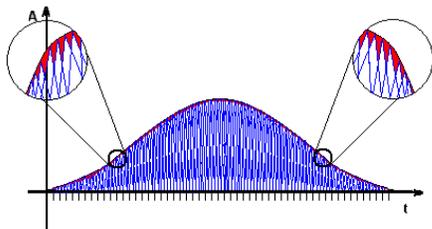
**Figura 3.** Ejemplo de una función de pertenencia a un Conjunto Difuso

La función que describe mejor a la función de pertenencia, es decir, la función que describe mejor al área bajo la curva de la Figura 3, puede verse como un triángulo acotado dentro de la propia función de membresía, y que en forma separada la podemos ilustrar por medio de la Figura 4.

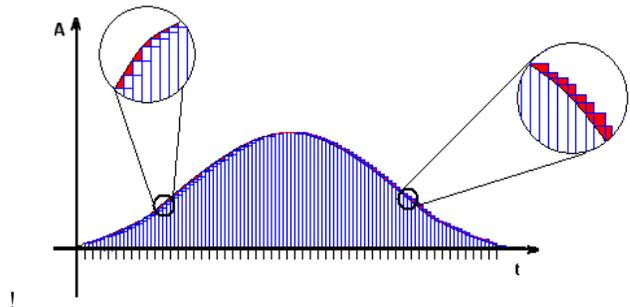


**Figura 4.** Ejemplo de una función de pertenencia a un Conjunto Difuso

De tal forma que entre más triángulos con anchuras independientes entre sí por pares incluyamos dentro de la envolvente descrita en la Figura 2., y que queden acotados por su envolvente, se tiene una mejor descripción que la de los rectángulos, tal y como puede verse en la Figura 5., en donde la Figura 5.a), está descrita su área bajo la curva envolvente por triángulos disjuntos a diferencias de la Figura 5. b), que en su primera mitad (vista de izquierda a derecha) cubre a los rectángulos, pero después de su máximo, los rectángulos superan a la envolvente.



**Figura 5 a)** representa con de la señal con función de pertenencia a un conjunto difuso



**Figura 5 b)** representación de la señal con Integral de Riemann  
**Funcionamiento**

La lógica difusa se adapta mejor al mundo real en el que vivimos, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, del tipo "hace mucho calor", "no es muy alto", "el ritmo del corazón está un poco acelerado", etc.

La clave de esta adaptación al lenguaje, se basa en comprender los cuantificadores de nuestro lenguaje (en los ejemplos de arriba "mucho", "muy" y "un poco").

En la teoría de conjuntos difusos se definen también las operaciones de unión, intersección, diferencia, negación o complemento, y otras operaciones sobre conjuntos (ver también subconjunto difuso), en los que se basa esta lógica.

Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos, que indican en qué medida el elemento forma parte de ese conjunto difuso. Las formas de las funciones de pertenencia más típicas son trapezoidal, lineal y curva.

Se basa en reglas heurísticas de la forma SI (antecedente) ENTONCES (consecuente), donde el antecedente y el consecuente son también conjuntos difusos, ya sea puros o resultado de operar con ellos. Sirvan como ejemplos de regla heurística para esta lógica (nótese la importancia de las palabras "muchísimo", "drásticamente", "un poco" y "levemente" para la lógica difusa):

- SI hace muchísimo calor ENTONCES disminuyo drásticamente la temperatura.
- SI voy a llegar un poco tarde ENTONCES aumento levemente la velocidad.

Los métodos de inferencia para esta base de reglas deben ser simples, veloces y eficaces. Los resultados de dichos métodos son un área final, fruto de un conjunto de áreas solapadas entre sí (cada área es resultado de una regla de inferencia). Para escoger una salida concreta a partir de tanta premisa difusa, el método más usado es el del **centroide**, en el que la salida final será el centro de gravedad del área total resultante.

Las reglas de las que dispone el motor de inferencia de un sistema difuso pueden ser formuladas por expertos, o bien aprendidas por el propio sistema, haciendo uso en este caso de Redes neuronales para fortalecer las futuras tomas de decisiones.

Los datos de entrada suelen ser recogidos por sensores, que miden las variables de entrada de un sistema. El motor de inferencias se basa en **chips difusos**, que están aumentando exponencialmente su capacidad de procesamiento de reglas año a año.

Un esquema de funcionamiento típico para un sistema difuso podría ser de la siguiente manera:



## ENTORNO FÍSICO

### Funcionamiento de un sistema de control difuso

En la figura, el sistema de control hace los cálculos con base en sus reglas heurísticas, comentadas anteriormente. La salida final actuaría sobre el entorno físico, y los valores de las nuevas entradas sobre el entorno físico (modificado por la salida del sistema de control) serían tomadas por sensores del sistema.

Por ejemplo, imaginando que nuestro sistema borroso fuese el climatizador de un coche que se autorregula según las necesidades: Los chips borrosos del climatizador recogen los datos de entrada, que en este caso bien podrían ser la temperatura y humedad simplemente. Estos datos se someten a las reglas del motor de inferencia (como se ha comentado antes, de la forma SI... ENTONCES...), resultando un área de resultados. De esa área se escogerá el centro de gravedad, proporcionándola como salida. Dependiendo del resultado, el climatizador podría aumentar la temperatura o disminuirla dependiendo del grado de la salida.

## 4. APLICACIONES

La lógica difusa se utiliza cuando la complejidad del proceso en cuestión es muy alta y no existen modelos matemáticos precisos, para procesos altamente no lineales y cuando se envuelven definiciones y conocimiento no estrictamente definido (impreciso o subjetivo).

En cambio, no es una buena idea usarla cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución.

Esta técnica se ha empleado con bastante éxito en la industria, principalmente en Japón, y cada vez se está usando en gran multitud de campos. La primera vez que se usó de forma importante fue en el metro japonés, con excelentes resultados. A continuación se citan algunos ejemplos de su aplicación:

- Sistemas de control de acondicionadores de aire
- Sistemas de foco automático en cámaras fotográficas
- Electrodomésticos familiares (Frigoríficos, lavadoras...)
- Optimización de sistemas de control industriales
- Sistemas de reconocimiento de escritura
- Mejora en la eficiencia del uso de combustible en motores
- Sistemas expertos del conocimiento (simular el comportamiento de un experto humano)
- Tecnología informática
- Bases de datos difusas: Almacenar y consultar información imprecisa. Para este punto, por ejemplo, existe el lenguaje FSQL.
- ...y, en general, en la gran mayoría de los sistemas de control que no dependen de un Sí/No.

## Lógica difusa en Inteligencia Artificial

En Inteligencia artificial, la lógica difusa, o lógica borrosa se utiliza para la resolución de una variedad de problemas, principalmente los relacionados con control de procesos industriales complejos y sistemas de decisión en general, la resolución la compresión de datos. Los sistemas de lógica difusa están también muy extendidos en la tecnología cotidiana, por ejemplo en cámaras digitales, sistemas de aire acondicionado, lavarropas, etc. Los sistemas basados en lógica difusa imitan la forma en que toman decisiones los humanos, con la ventaja de ser mucho más rápidos. Estos sistemas son generalmente robustos y tolerantes a imprecisiones y ruidos en los datos de entrada.

Consiste en la aplicación de la lógica difusa con la intención de imitar el razonamiento humano en la programación de computadoras. Con la lógica convencional, las computadoras pueden manipular valores estrictamente duales, como verdadero/falso, sí/no o ligado/desligado. En la lógica difusa, se usan modelos matemáticos para representar nociones subjetivas, como *caliente/tibio/frío*, para valores concretos que puedan ser manipuladas por los ordenadores.

En este paradigma, también tiene un especial valor la variable del tiempo, ya que los sistemas de control pueden necesitar retroalimentarse en un espacio concreto de tiempo, pueden necesitarse datos anteriores para hacer una evaluación media de la situación en un periodo de tiempo anterior

## 5. CONCLUSIÓN

La lógica difusa puede resumirse en una lógica que tiene múltiples valores de niveles de respuesta o estados del sistema, que comparado con el campo de Galois respecto del conjunto  $\{0,1\}$ , conocido como condiciones de Booleanas; se acerca más al lenguaje natural usado dentro del razonamiento humano (siendo este es basado en experiencias y conocimientos que este adquiere con el tiempo y así como la clasificación dentro de múltiples valores), llevando así un mayor acercamiento de las máquinas a la forma humana en la toma de decisiones y manejo de conceptos lógicos para el hombre. Además que al usar la Base de conocimiento respecto de un sistema se cuenta con una mayor eficiencia en las máquinas así como en los procesos, al considerar a las variables lingüísticas dentro del control y así una interacción híbrida entre hombre-máquina con un alto grado de comodidad.

En cuanto al concepto del tipo de control que se tendría con lógica difusa, resulta muy interesante ya que interpreta las acciones a realizar con un nivel de comunicación diáfano entre la máquina y el hombre, tendiendo así una toma de decisiones y un control con mucha agilidad con tiempos de respuesta acotados. En cuanto a su desarrollo y su aplicación este resulta muy empleado ya que nos da una solución al control de cualquier índole respecto de un sistema al usar las funciones de membresía.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] "Lógica difusa". Disponible en [http://www.geocities.com/wilben\\_latino/cap12.html](http://www.geocities.com/wilben_latino/cap12.html) leído en fecha 28/10/2008.
- [2] "Lógica Difusa". Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica\\_difusa](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa) leído en fecha 28/10/2008.
- [3] "Aplicaciones de la Lógica difusa". Disponible en <http://hidroextrema.blogspot.com/2007/10/inteligencia-artificial.html> leído en fecha 31/10/2008.