



LA LÓGICA DIFUSA

La *Lógica Difusa* es una extensión de la Lógica Multivaluada, que además está relacionada y fundamentada en la teoría de conjuntos difusos. Según esta teoría, será una función de transferencia (que tomará cualquiera de los valores reales comprendidos en el intervalo $[0,1]$) la que determine el grado de pertenencia de un elemento a un conjunto.

Historia y Fundamentos de la Lógica difusa

En la Antigua Grecia, Aristóteles introdujo las Leyes del Conocimiento, las que posteriormente serían el sustento de la Lógica clásica. Sus tres Leyes fundamentales eran:

Principio de Identidad

Ley de la Contradicción

Ley del Tercero Excluido

La ley del Tercero Excluido afirma que para toda proposición p , bien p ó $\sim p$ deben ser verdaderas, sin que haya ninguna proposición verdadera entre ellas.

¿Es acaso totalmente cierto? En principio podríamos pensar que así es, pero ciertamente nos surgen dudas al llenar un vaso hasta la mitad, y proponer como proposición p 'lleno'. Nos encontraremos que el vaso o está lleno, o está vacío...

Platón ya plantó los fundamentos de lo que hoy se conoce como *lógica difusa*, indicando que había una tercera región entre verdadero y falso: los grados de pertenencia.

Posteriormente, se indagó en el concepto de lo vago, lo similar, la ambigüedad. En el siglo XVIII, tanto George Berkeley como David Hume describieron y explicaron que el núcleo de un concepto atrae conceptos similares. A principios del siglo XX, Bertrand Russell estudió las vaguedades del lenguaje, siendo Ludwig Wittgenstein el que estudió las formas en las que una palabra puede ser empleada para muchas cosas que tienen algo en común.

Fue Jan Łukasiewicz el primero que propuso una alternativa sistemática a la lógica bi-valuada de Aristóteles, una *lógica de vaguedades*. La describió como la lógica de los 3 valores o trivaluada, con el tercer valor siendo 'Posible'.

Sin embargo, aunque la Historia lo haya olvidado, hemos de reconocer al filósofo cuántico Max Black como el precursor de la *Lógica difusa*. Black define en 1937 el primer conjunto difuso mediante una curva que recogía la frecuencia con la que se pasaba de un estado a su opuesto, una idea que pasó totalmente inadvertida por ser contraria al empirismo lógico que para entonces primaba entre los filósofos de la ciencia.

En los 60 Lotfi Asker Zadeh, basado en las ideas de Black, creó (según algunos, simplemente descubrió) la 'lógica difusa', que combina los conceptos de la lógica y de los conjuntos de Jan Łukasiewicz mediante la definición de grados de pertenencia. No fue, sin embargo, hasta 1973 cuando propuso la teoría sobre la *lógica difusa*, que

supuso una auténtica revolución en los cimientos de la lógica clásica. Propuso que la función miembro operase en el rango de los números reales $[0,1]$, además de nuevas operaciones para el cálculo lógico y mostró que la *lógica difusa* era una 'generalización' de la lógica clásica.

¿De dónde procede y en qué consiste la *Lógica difusa*?

La *Lógica Difusa* se deriva de la Teoría de los conjuntos difusos, y su razonamiento se basa en la aproximación a la percepción humana: no todo es blanco o negro, los distintos tipos de grises predominan en el pensamiento humano. Por tanto, se da prioridad a la aproximación más que a la precisión, la cual recibía toda la atención e importancia de la lógica clásica.

Puede ser imaginada como la aplicación práctica de la Teoría de los conjuntos difusos junto a la extracción de valores reales de problemas complejos, Teoría desarrollada por Klir y Yuan en 1997.

Llegados a este punto, es importante establecer que existen diferencias entre grados de verdad y probabilidades, desconocidas para muchos. La verdad difusa (los distintos tipos de verdad) representa que se es miembro de unos conjuntos vagamente definidos, no indica probabilidad o algún tipo de condición. El ejemplo siguiente aclarará esta definición:

Juan está en un parque de atracciones, el cual se compone de exclusivamente 2 montañas rusas. Los recintos de ambas son totalmente adyacentes. En muchos casos, el estado de Juan en el conjunto que definimos como "en la montaña rusa sencilla" está completamente claro: está en el conjunto "en la montaña rusa sencilla", o en el conjunto "no en la montaña rusa sencilla". Pero... ¿qué pasa cuando Juan esté entre los dos recintos? Podríamos considerar que está "parcialmente en la montaña rusa sencilla". Cuantificar este estado parcial nos lleva a su pertenencia a conjuntos difusos. Con una pierna en la montaña rusa sencilla, podríamos decir que Juan está en un 85% "en la montaña rusa sencilla" y un 15% "en la montaña rusa peligrosa", por ejemplo. Sin embargo, ningún evento (como tirar una moneda) nos dirá si Juan está completamente "en la montaña rusa sencilla" o "no en la montaña rusa peligrosa", mientras que esté situado entre los dos recintos. El 85% no nos está indicando la probabilidad de que Juan esté en uno de los dos recintos, sino nos indica que su cuerpo está en unos de los recintos en un porcentaje de su masa, y en el otro recinto con otros porcentaje de su cuerpo.

Esto es debido a que los conjuntos difusos se basan en vagas definiciones de conjuntos, no en aleatoriedad. Es por esto por lo que la 'lógica difusa' permite pertenecer a conjuntos cuyos valores varíen de 0 a 1 (ambos incluidos), y permite usar conceptos imprecisos como "ligeramente", "bastante" y "mucho". Eso no es todo, sino que se permite la inclusión 'parcial' en un conjunto.

La 'lógica difusa' es válida para ciertas aplicaciones y para otras no. Pese a que tiene una enorme aceptación y un amplio registro de aplicaciones exitosas, algunos ingenieros de control la rechazan para validación y otras razones, y por algunos estadísticos, los cuales mantienen que la probabilidad es la única descripción matemática rigurosa para describir 'lo incierto'.

La idea básica que subyace bajo el uso de la tecnología de la Lógica difusa, es la aproximación al pensamiento humano en el cual se va a llevar a cabo un razonamiento en base a múltiples variables medidas de forma difusa, de esta forma se va intentar imitar la inteligencia humana teniendo en cuenta todos los factores posibles.

Desde este punto de vista el razonamiento humano es difuso, siendo esta una de las claves del exitoso desarrollo del ser humano. La capacidad de análisis del entorno y el ser capaz de tomar decisiones teniendo en cuenta todas las entradas posibles medidas de una forma no matemática.

Ejemplo de la aplicación humana de la lógica difusa

Pongámonos en situación, estas conduciendo por la típica vía con múltiples carriles, en la cual hay un límite de velocidad establecido de 70 por hora y no se encuentran semáforos más que cada kilómetro. Lo más normal y seguro en esta situación es conducir siguiendo el tráfico, es decir siguiendo el ritmo que se marca de forma conjunta entre todos los vehículos, esto situara la velocidad media probablemente algo más que el límite (78-80 km/h). Definir lo que se seguir el tráfico es algo bastante difuso ya que hay muchos aspectos que se han de tener en cuenta. En la situación antes descrita habrá muchos conductores que viajaran a una velocidad de que ronde los 80 km/h oscilando por arriba o por abajo (la gran mayoría), pero habrá unos pocos que se mantengan todo el rato a 70 km/h. Para llevar a cabo la conducción los conductores van a estar usando la lógica difusa innata que todos los seres humanos poseemos, esto se basa en la observación de la situación para la posterior evaluación de esta, para ello la información obtenida del medio deberá ser resumida, ponderada y evaluada en conjunto para la toma de la decisión. Entre los aspectos a evaluar están el número de vehículos que hay por delante, si hay algún pedazo de chatarra avanzando lentamente por alguna de las vías, si el asfalto esta mojado o se ve afectado por alguna otra situación climática adversa, si hay algún camión u otro vehículo largo, si existe la posibilidad de que haya radares en la zona(sabiendo también el margen entre la velocidad límite y una posible sanción por exceso de velocidad)...

A pesar de todos estos factores, todos los conductores acabarán llevando a cabo una conducción a una velocidad similar.

Aplicaciones

Una de las principales ventajas de la Lógica difusa o también llamado Control Difuso es la velocidad en obtener una salida con una gran fiabilidad. Nos permiten solucionar gran parte de los problemas de control automático de una manera sencilla sin necesidad de conocer un modelo matemático que lo pueda controlar.

Un ejemplo básico puede ser el de la ducha. Nosotros somos los sensores de temperatura y el control de la temperatura lo hacemos sobre los grifos. Inicialmente abrimos el agua caliente, a medida que empieza a salir agua caliente vamos cerrando el grifo del agua caliente y vamos abriendo el del agua fría en este proceso se producen subidas y bajadas de temperatura bruscas. El caso de la ducha no es un proceso crítico, pero si estamos en un laboratorio de química y los grifos son de los reactivos no podemos tolerar esas fluctuaciones en la salida. En este caso tendremos que usar un modelo matemático fiable: Regulador PID, Control multivariable.

Se ha de aclarar que la Lógica difusa no es una tecnología de futura aplicación, si no que existen ya en el mercado muchos productos basados en esta tecnología, habiéndose vendido ya cientos de millones de Euros de estos productos. Muchas de estas aplicaciones de la Lógica difusa están siendo desarrolladas y aplicadas en países como Japón y Alemania. Entre los productos más comunes que llegan al ciudadano de a pie basados en la Lógica difusa se pueden citar los siguientes:

Lavadoras inteligentes que regulan el uso del agua y el detergente en función del nivel de suciedad de la ropa.

El metro Senday en Japón.

Medidores de presión sanguínea.

Aspiradoras, Ascensores, neveras, microondas... y múltiples electrodomésticos.

Cámaras de video y fotográficas con auto foco.

Aire acondicionado inteligente, al cual se le indica si uno tiene calor o mucho calor y ya ajusta la temperatura en función de la actual.

La aplicación de la Lógica difusa a un nivel comercial, ha hecho practicas la teoría en ella expuesta, demostrando los resultados de su uso, aun así hoy en día gran parte de la comunidad científica mira con cierto recelo las teorías en ella expuestas.

En la actualidad gran cantidad de patentes de productos se basa en la Lógica difusa, siendo esta en origen una idea de libre aplicación que ha resultado de gran utilidad para el desarrollo de tecnologías comerciales propietarias

En la actualidad estas aplicaciones no se están llevando a cabo de forma efectiva en Estados Unidos, muchas veces motivados por el impacto del propio nombre la tecnología "fuzzy", el cual podría generar rechazo en el público en general .

Otras aplicaciones:

Control luminosidad.

Control de humedad.

Control de temperatura.

Sistemas de reconocimiento

Sistemas basados en Inteligencia Artificial.

Definiciones de utilidad

La idea de este principio parte de que la complejidad de un sistema hace que resulte mucho más difícil o casi imposible determinar cómo será su comportamiento, llegando un punto en el cual es imposible llegar a una solución sin utilizar la lógica difusa.

Esta idea se apoya en una serie de conceptos, que se van a clarificar para hacer más sencilla la comprensión de los sistemas de lógica difusa:

-Fuzzy Sets o conjuntos difusos: desde el punto de vista de que se aplican palabras a la definición de cualquier propiedad por ejemplo: mujeres altas, edificios viejos, hombres bajos, elevada inteligencia, baja velocidad, viscosidad moderada... Desde este punto de vista estos valores no podrían ser definidos solo con 2 valores, 0 y 1, se ha de establecer un peso para la característica estableciendo valores intermedios (ejemplo entre 0 y 1 tomando todos los valores intermedios, o bien estableciendo una escala de 0 a 100).

-Grado de pertenencia: este valor establece el punto de transición entre 0 y 1 entre las condiciones del conjunto difuso, por ejemplo si se establece que un edificio en el aspecto de lo nuevo que es tiene un valor de 7 , este será el grado de pertenencia entre los nuevos edificios. Un ejemplo de uso del grado de pertenencia podría ser el siguiente, en el control de la velocidad de un vehículo, se contemplaría la pertenencia en el aspecto de velocidad excesiva y no existe necesidad de cambio en la velocidad. Con estos dos aspectos se podría calcular cual es la acción que se ha de llevar a cabo según los valores de entrada de estos valores.

-Resumen de la información: la percepción que tienen los seres humanos de su entorno es por naturaleza difusa, esto se debe a que no se usa la lógica bivaluada, a través de un proceso mental inherente a la percepción humana se llega a una salida, la cual es verbalizada. (A partir de un conjunto de entradas puede determinarse la

situación). Los seres humanos reciben ingentes cantidades de información, debido a la capacidad que los seres humanos poseen para manipular conjuntos difusos se pueden resumir, esta característica es una de las grandes diferencias entre el proceso en los seres humanos y en las máquinas. La emulación de esta habilidad humana es el desafío afrontado para llevar a cabo el desarrollo de la inteligencia artificial.

-Variable difusa: es cualquier valor que está basado en la percepción humana más que en valores precisos de medición (Ej. un color, que está compuesto en realidad por varias tintas, si la presión de la caldera es excesiva, si la temperatura del agua es la adecuada, si la cantidad de sal que lleva la tortilla es excesiva, si la velocidad de un tren es elevada...) todas estas dependen de la percepción y están vinculadas con el uso del lenguaje y pueden ser usadas en estructuras del tipo if-then, como por ejemplo: *if* velocidad es excesiva *then* reducir la presión sobre el acelerador.

-Universo de discurso: Este es el conjunto de elementos que vamos a tener en consideración, por ejemplo si se considera que las personas de una comunidad, este universo estará formado por las personas bajas, las personas altas, los hombres con gafas...

Boom de la Lógica Difusa en Japón

A comienzos de los años 80, especialmente en Japón, empezaron a aparecer múltiples aplicaciones comerciales relacionadas con la Lógica Difusa. Es por esto que Japón se convirtió en el centro de investigación tanto académica como industrial de los sistemas difusos. Ejemplos claros del desarrollo que indicamos los podemos observar en controles de la manufactura del cemento, en procesos de purificación del agua, incluso en Sendai, Japón (como no podía ser de otra manera) los ingenieros de Hitachi desarrollaron y pusieron en marcha un controlador difuso que conducía los metros.

Durante toda esa década, los japoneses siguieron fabricando multitud de productos basados o compuestos de elementos basados en lógica difusa. Ejemplos de estos últimos podrían ser las televisiones que ajustaban el volumen y la luminosidad según fuera el volumen de ruido ambiental o la luz existente en los alrededores; lavadoras inteligentes que seleccionaban el mejor programa de lavado según la cantidad de ropa (y de lo sucia que estaba); microondas que se ajustaban según la humedad ambiente, etc.

Lógica difusa y operaciones eficientes sin intervención humana eran sinónimos en aquella época. Sin embargo, la locura por los productos difusos decayó, aunque actualmente siga estando muy presente en cantidad de productos consumidos. Como ejemplo podríamos poner algunas de las nuevas transmisiones de los coches, que contienen un componente difuso que detecta el tipo de pilotaje y las revoluciones del motor para seleccionar la mejor marcha.

Ventajas

La principal ventaja de este sistema de control es su facilidad de implementación.

Este tipo de sistemas están dando muy buenos resultados en procesos no lineales y de difícil modelización

El modo de funcionamiento es similar al comportamiento humano.

Es una forma rápida y económica de resolver un problema.

No se necesita conocer el modelo matemático que rige su funcionamiento.

Desventajas

En las redes neuronales se precisa de un tiempo de aprendizaje para obtener los mejores resultados en la salida.
(Al igual que ocurre con los humanos).

Ante un problema que tiene solución mediante un modelo matemático, obtenemos peores resultados usando Lógica Difusa .