# Lógica clásica y lógica difusa: Facetas que las caracterizan

## Classical logic and diffuse logic: facets that characterize them

Por:
Juan Almache Cabrera
Universidad de Cuenca

Recibido: 03 de Enero 2013
Aceptado: 14 de Febrero 2013

**Resumen:**

El análisis de información bibliográfica, como proceso metodológico para este artículo, condujo a la elaboración de matrices correspondientes a cada una de las facetas: lógica, relacional, epistémica y de conjuntos, de las lógicas clásica y difusa. La interrelación y análisis de las diferentes premisas constantes en estas matrices permitió la diversificación en la concepción de cada una de ellas, considerando a la lógica clásica como ciencia de los principios formales y normativos del razonamiento, que centra su atención en la forma lógica de adoptar los pensamientos para la construcción de lenguajes formales con claridad y precisión, y a la lógica difusa como ciencia de los principios formales del razonamiento aproximado, flexible y tolerante con la imprecisión, capaz de modelar problemas no lineales.
Además, se manifiestan sucintamente aplicaciones de la lógica difusa, entre otras: los sistemas de control y redes neuronales.

**Palabras clave:** Lógica, sistemas de control, redes neuronales.

**Abstract:**

Analysis of bibliographic information, such as methodological process for this article, led to the elaboration of matrices corresponding to each of the facets: logical, relational, epistemic and sets, from classic and diffuse logics. The interrelationship and analysis of different premises constants in these arrays allowed the diversification in the conception of each of them, whereas the classical logic as a science of the formal and regulatory principles of reasoning, which focuses on the logical form of adopting the thoughts to the construction of formal languages with clarity and precision, and diffuse logic as the science of the formal principles of approximate reasoning, flexible and tolerant of imprecision, capable of modeling non-linear problems.
In addition, applications of diffuse logic are briefly manifested, among others: control systems and neural networks.

**Keywords:** Logic, control systems, neural networks.

# Introducción:

Desde las proximidades del año 300 a. C., la lógica aristotélica –como base del pensamiento formal- ha venido sustentándose en enunciados a los cuales se les puede asignar los valores de verdad: verdadero o falso. Lógica binaria donde cada enunciado denominado proposición es verdadero o no lo es.

Aristóteles consideró: en todas las ciencias rigen los mismos principios generales de razonamiento. Principios concebidos por él y en los que se apoyó para determinar la validez o no validez de un argumento.

Las proposiciones pueden ser simples (primigenias, atómicas) o compuestas. Las atómicas se combinan con otras a través de los operadores o conectores: ¬ *(negación),* **A** *(conjunción),* **V** *(disyunción),* ↔ *(bicondicional),* para formar las denominadas proposiciones compuestas.

De esta manera, si *p* y *q* son dos proposiciones simples, mediante el uso de estos operadores, se tiene:

## Negación
La negación de la proposición *p* se denota *por ˜p* y se lee "no *p*".

## Conjunción
La conjunción de *p*, *q* se expresa *p* Λ *q* y se lee "*p* y *q*" y es verdadera cuando tanto *p* como *q* son verdaderas.

## Disyunción
La disyunción de *p*, *q* se expresa *p* ∨ *q*, se lee "*p* o *q*" y es verdadera cuando *p* es verdadera o *q* es verdadera o las dos son verdaderas.

## Condicional
La condicional de *p, q* se expresa *p* → *q*, se lee "si *p* entonces *q*" y es falsa cuando la proposición *p* (hipótesis) es verdadera y la proposición *q* (conclusión) es falsa.

## Bicondicional
La bicondicional de *p*, *q* se expresa *p* ↔ *q* y se lee "*p* si y sólo si *q*" y es verdadera cuando las proposiciones *p*, *q* tienen el mismo valor de verdad.

En su obra, Pérez (2003), afirma: Los silogismos consisten de dos premisas y una conclusión, unidas en forma de inferencia o de implicación, así el más famoso de todos los silogismos se puede expresar de las siguientes dos maneras:

| Inferencia | Implicación |
|---|---|
| Todos los hombres son mortales. Sócrates es un hombre. Por lo tanto, Sócrates es mortal. | Si todos los hombres son mortales y Sócrates es un hombre, entonces Sócrates es mortal. |

Este no es el sitio para repasar la compleja estructura de los diferentes silogismos, sino para señalar que se trata de instrumentos poderosos para examinar el razonamiento científico; no nos dicen nada, ni están diseñados para hacerlo, sobre el contenido de verdad de las premisas, sino que se trata de simples reglas de lógica para usarse una vez que las premisas se han alcanzado.

Podría continuarse con la revisión de otros conceptos de la lógica clásica, tales como: la implicación lógica, la equivalencia lógica, argumentos, cuantificadores, etc., pero de lo que en realidad se trata es de estructurar una breve introducción a las lógicas clásica y difusa, en la intención de caracterizarlas.

La lógica clásica asigna a las proposiciones simples o compuestas solamente uno de los valores de verdad (verdadero: 1 o falso: 0), no admite posición intermedia alguna entre estos dos valores, de lo cual sí presume la lógica difusa. A este respecto, Ponce (2011), manifiesta: Las computadoras manejan datos precisos que se reducen a cadenas de unos (1) y ceros (0) y proposiciones que son ciertas y falsas. El cerebro humano puede razonar con información que involucra incertidumbre o juicios de valor como: "el aire es frío" o "la velocidad es rápida". Además, las personas tienen un sentido común que les permite razonar en un mundo donde las cosas son parcialmente ciertas. La lógica difusa es una rama de la IA que le permite a una computadora analizar información del mundo real en una escala entre lo falso y verdadero.

Surge entonces la interrogante: ¿cómo determinar valores de verdad con cierto grado de certeza o falsedad?, valores comprendidos entre dos extremos de situaciones o fenómenos reales que llevan implícito cierto grado de imprecisión al tratar de describir su naturaleza. Al referirnos a la temperatura por ejemplo, sus dos extremos de baja o alta, pueden cambiar a un estado intermedio de templado o aproximarse cada vez más a frío o caliente. En este caso, no es posible identificar o precisar un punto simple de templado. Es cuando -para solucionar situaciones como ésta- entra en función la denominada lógica difusa; pero ¿en qué consiste exactamente esta lógica?

La lógica difusa es un conjunto de principios matemáticos basados en grados de membresía o pertenencia, cuya función es modelar información. Este modelado se hace con base en reglas lingüísticas que aproximan una función mediante la relación de entradas y salidas del sistema (composición). Esta lógica presenta rangos de membresía dentro de un intervalo entre 0 y 1, a diferencia de la lógica convencional, en la que el rango se limita a dos valores: el cero o el uno (Ponce, 2011).

La lógica difusa utiliza enunciados que no son ni totalmente ciertos ni completamente falsos y se aplica a expresiones que pueden tomar un valor de veracidad de todo un conjunto de valores comprendido entre dos extremos, la verdad absoluta y la falsedad total. De esta manera los conjuntos difusos se constituyen en la generalización de los conjuntos clásicos, que consideran únicamente la pertenencia o no pertenencia de un elemento a un determinado conjunto, a diferencia de los difusos, en los cuales, un elemento del conjunto presenta cierto grado de pertenencia y toma un determinado valor entre 0 y 1.

Dentro de la teoría clásica de conjuntos, existen algunos conceptos y determinadas operaciones que pueden hacerse extensivos a los conjuntos difusos, y otros que son propios de la teoría de conjuntos difusos. Son dos las leyes fundamentales de la teoría clásica de conjuntos que no se cumplen en la teoría de conjuntos difusos, como: el principio de contradicción $A$ U $\tilde{A} = U$, y el principio de exclusión $A$ O $\tilde{A} = \varnothing$, es decir, la diferencia entre estas dos teorías queda determinada con la demostración de que estos dos principios no se cumplen para la lógica difusa.

El grado de pertenencia de un elemento de un conjunto difuso se establece a través de una función denominada función característica o función de pertenencia, asociada al conjunto difuso: para cada valor que pueda tomar un elemento o variable de entrada x la función característica proporciona el grado de pertenencia de este valor de x al conjunto difuso.

Así, en el universo de discurso *U*, un conjunto difuso *A*, se caracteriza por una función de pertenencia $\mu_A(x)$, que asume valores del intervalo [0,1]. El conjunto *A* queda conformado entonces, por pares ordenados de un elemento x y su valor de pertenencia al conjunto $A = \{ (x,\mu(x)) / x \, E \, U \}$.

## Ejemplo:

Sea *A*, el conjunto de niños que asisten a inscribirse en un curso de deportes escolares, con la restricción de que sus edades se aproximen a 7 años o mayores.

En la figura 1, se grafica el conjunto *A* para cuatro diferentes funciones de pertenencia, basadas en la edad de los alumnos y los grados de pertenencia:

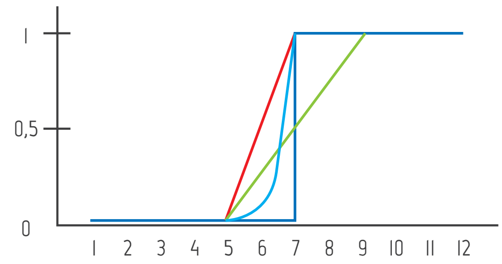


**Figura 1**

La función de pertenencia de la curva azul, asigna un grado de pertenencia 0 a los menores de 7 años y un grado de pertenencia 1 a quienes cumplieron 7 años. En este caso, el conjunto difuso es similar al conjunto clásico, y el entrenador opta por regirse a un reglamento estricto sin ambigüedades.

**Curva verde:** El entrenador conjuntamente con los padres de los niños, a fin de flexibilizar la edad de ingreso, conviene en considerar otros factores como estatura, peso, etc., y asignar el grado de pertenencia de 0 a los menores de 5 años, y grados de pertenencia 1 a los mayores de 9 años.

Las curvas **roja y celeste** establecen el grado de pertenencia de 0 a los menores de 5 años y grado de pertenencia 1 para los mayores de 7 años. Estas curvas estiman que todos los mayores de 7 años pueden inscribirse sin ninguna restricción, y los mayores de 5 años que cumplan con determinados requerimientos. Es de anotar que la curva celeste por ser una exponencial restringe mucho más la inscripción a los niños de menor edad. De esto se desprende que la función de pertenencia puede elegirse de manera arbitraria, pero siempre supeditada al conocimiento y razonamiento de un experto.

## Grado de pertenencia

El grado de pertenencia de la edad para la curva roja en la figura 1, viene dada por la expresión:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & si \; x < 5 \\ (x - 5)/2 & si \; 5 < x < 7 \\ 1 & si \; x > 7 \end{cases}$$

*El grado de pertenencia de un elemento en un conjunto depende de las definición de la función de pertenencia*

¿Por qué (x – 5)/2?, su forma de obtención es la siguiente:

En la figura 1, las coordenadas de los puntos extremos del segmento de recta en color rojo son (5, 0) y (7, 1), el cálculo de la pendiente de este segmento determina que m = 1/2, aplicando la ecuación de la recta punto pendiente se obtiene como ecuación del segmento de recta en color rojo $y = 1/2\,(x\text{-}5)$

La función de pertenencia de las otras curvas se obtiene de manera similar a la anterior. El grado de pertenencia (membresía) total se logra por medio de la aplicación de las operaciones normales de conjuntos difusos. Estas operaciones coincidirán con las de los conjuntos clásicos, solamente cuando los grados de pertenencia sean específicamente 0 y 1.

## BREVE HISTORIA DE LA LÓGICA DIFUSA

La noción de lógica difusa se remonta hasta hace aproximadamente 2500 años, cuando Aristóteles reflexionaba ya sobre la noción de la existencia de ciertos grados de valor de verdad comprendidos entre los extremos verdadero y falso. Se afirma que Platón en ese entonces, trabajó ya con grados de pertenencia. En este contexto, la historia de la lógica difusa revela que, en 1920, el lógico Jan Lukasiewicz logró establecer los principios de la lógica multivaluada: las proposiciones pueden tomar valores verdaderos fraccionales entre los unos (1) y los ceros (0) de la lógica clásica. Lotfi A. Zadeh aplicó estos principios a cada objeto en un conjunto, creando de esta manera, el álgebra de conjuntos difusos y la publicó con el nombre de *Fuzzy Sets*, esta teoría considera –entre los valores de falso y verdadero [0.0, 1.0]- ciertas funciones denominadas funciones de pertenencia. Ebrahim H. Mamdani, aproximadamente en la mitad de la década del setenta, aplicó la lógica difusa al diseñar un controlador difuso para un motor de vapor y desde entonces, cualquier sistema, matemático o computacional que razona con lógica difusa, es sinónimo de lógica difusa.

El nombre de lógica borrosa nace de la locución *fuzzy sets* (conjuntos borrosos), sentada por el mencionado ingeniero iraní Lotfi A. Zadeh, quien en su investigación sobre este tema, a mediados de los años sesenta, en la Universidad de Berkeley (California), se encontró con una situación especial a la que llamó “principio de incompatibilidad”, y lo describió de la siguiente manera: Conforme la complejidad de un sistema aumenta, nuestra capacidad para ser precisos y construir instrucciones sobre su comportamiento disminuye hasta el umbral más allá del cual, la precisión y el significado son características excluyentes.

El párrafo anterior trae implícita la noción de que el pensamiento humano se construye con etiquetas lingüísticas mas no precisamente con números como elementos, es decir, al conocimiento común que en su mayor parte es cualitativo o lingüístico y no precisamente cuantitativo, es posible representarlo mediante la teoría de conjuntos difusos y ciertas funciones características inherentes.

En realidad, la intención inicial de Zadeh fue la de establecer juiciosamente el manejo del razonamiento humano expresado de forma lingüística. Sin embargo, la lógica difusa fue conquistando el campo del control automático de procesos, al tiempo que causaba cierto grado de sorpresa, como sucedió en el Japón a partir de 1987 por ejemplo, donde varias compañías se agruparon para aplicar el control difuso a nivel de varias ramas tecnológicas, como en sensores de audio y video, robots para usarlos en fábricas, maniobra y control de aviones, el campo de la metalurgia, estabilización en cámaras fotográficas y de video, lavadoras, equipos de aire acondicionado, climatizadores, fotocopiadoras, ascensores, televisores, sistemas de frenado ABS, entre otras. Los sistemas de control de estas aplicaciones utilizan por lo general información imprecisa, y logran sus objetivos a través de la lógica difusa.

Entonces, con la lógica borrosa existe la posibilidad de regular un sistema por medio de reglas de “sentido común”, relacionadas con cantidades indefinidas. Estas reglas pueden ser enunciadas por expertos o aprendidas con estrategias adaptativas mediante la observación, de forma similar a la que un individuo opera un mecanismo real. Esta lógica modela matemáticamente funciones no lineales cuyas entradas son procesadas en salidas concordantes con destrezas lógicas que utilizan el razonamiento aproximado, y su aplicación ha alcanzado mucho éxito en los diferentes campos de control. Podría decirse que esta aplicación, en el campo de la técnica, es ya rutinaria, y en cualquier sistema continuo de ingeniería, física, biología o economía.

## MATRICES PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS LÓGICAS CLÁSICA Y DIFUSA

A continuación se detallan cuatro matrices que exteriorizan proposiciones correspondientes a las fases: lógica, relacional, epistémica y teoría de conjuntos, relativas a las lógicas clásica y difusa. Materia que, sumada a las ideas expuestas en los párrafos anteriores, permitirá establecer caracterizaciones entre estas dos lógicas.

## FACETA LÓGICA

### LÓGICA CLÁSICA

- Ciencia de los principios formales y normativos del razonamiento (series de sistemas lógicos bivaluados).
- Centra su atención en la forma lógica que adoptan los pensamientos para construir lenguajes formales con claridad y precisión.
- La lógica matemática como subsistema de la lógica y las matemáticas, es el estudio matemático de la lógica aplicada a otras áreas de las matemáticas.
- La lógica clásica se caracteriza por utilizar un lenguaje formalizado o simbólico para evitar ambigüedades.
- Estudia las formas del pensamiento para darle validez formal al conocimiento.

### LÓGICA DIFUSA

- Se refiere a los principios formales del razonamiento aproximado. Se caracteriza por su flexibilidad, su tolerancia con la imprecisión, y su capacidad para modelar problemas no lineales.
- Es importante al momento de representar conocimiento en base a información incompleta, imprecisa o bajo incertidumbre.
- Permite representar el pensamiento humano que no es exclusivo de lo cuantitativo sino también lingüístico cualitativo, en lenguaje matemático. Es decir, permite trabajar a la vez con números y términos lingüísticos.
- La lógica difusa puede controlar o describir un sistema usando reglas de sentido común que se refieren a cantidades indefinidas. De mucha utilidad, cuando los matemáticos carecen de algoritmos que dictan cómo un sistema debe responder a ciertas entradas.

## FACETA DE CONJUNTOS

### LÓGICA CLÁSICA

- Estudia los sistemas formales en relación con el modo en el que codifican conceptos intuitivos de objetos matemáticos como: conjuntos, números, demostraciones y computación.
- Trabaja con conjuntos clásicos en los cuales se especifican las propiedades y pertenencia de sus elementos.
- Un conjunto A es matemáticamente equivalente a la función de pertenencia. Conocer esta función es conocer el conjunto como tal.
- Aquellos conjuntos de proposiciones que siempre son verdaderas se denominan tautologías y aquellas que siempre son falsas contradicciones. Si una proposición condicional, por ejemplo, es una tautología, se denomina implicación.

### LÓGICA DIFUSA

- Se aplica a conjuntos cuya frontera no está definida con precisión. Situación que se relaciona con la mayoría de las aplicaciones de la lógica difusa en las matemáticas.
- Para la representación de los grados de pertenencia de cada uno de los elementos que conforman el conjunto difuso se deben extraer los datos del fenómeno que se va a representar, y con ellos definir la forma de la función de membresía.
- Existen funciones de membresía convencionales que permiten realizar un mapeo de un universo nítido a un universo difuso (grados de membresía entre 0 y 1).
- En la lógica difusa no existen tautologías pero sí cuasi-tautologías, ya que las proposiciones no adquieren valores de 0 o 1 como en la lógica booleana, sino que contemplan valores de pertenencia entre 0 y 1.

## FACETA RELACIONAL

### LÓGICA CLÁSICA

- Se relaciona con ciertas partes de la lógica formal, dispuestas a estudiarse matemáticamente y modelarse.
- Se direcciona hacia el estudio de las teorías: de conjuntos, de modelos, de la demostración y de recursión; cuatro campos que se constituyen en el pilar fundamental de la lógica matemática.
- Tiene estrechas conexiones con las ciencias de la computación y la lógica filosófica.
- Estudia los sistemas formales, en relación con el modo en el que se codifican nociones intuitivas de objetos matemáticos como conjuntos, números, demostraciones y computación.

### LÓGICA DIFUSA

- Se relaciona con funciones que no se encuentran definidas con precisión. Situación predominante en las aplicaciones de procesamiento de datos y de control automático.
- Posee la capacidad de reproducir de forma aceptable los modos usuales del razonamiento, donde la certeza de un enunciado es cuestión de grado.
- Tiene reglas tomadas de expertos, pero cuando no hay experto, los sistemas difusos adaptativos aprenden las reglas, observando cómo la gente manipula sistemas reales.

## FACETA EPISTÉMICA

### LÓGICA CLÁSICA

- Esta fase concuerda de alguna manera con la fase lógica, y tiene que ver con la significación, la decisión y el conocimiento.
- La lógica tradicional considera a la verdad configurada como algo libre de contradicciones y nuevas determinaciones que enriquecen el conocimiento.
- En la actualidad ya no se admiten "verdades eternas", sino verdades imperfectas, con elementos acaso contradictorios, pero susceptibles a ser considerados a través del incesante desarrollo de la ciencia.
- Si ciertos principios son principios del conocimiento y no suposiciones utópicas ajenas a la formación epistemológica, debe admitirse lo contradictorio y paradójico, que pasan de ser elementos nocivos al conocimiento para transformarse en un potencial que promueve su progreso.
- Se la considera como caso límite de la lógica difusa.
  La lógica matemática no es la "lógica de las matemáticas" sino la "matemática de la lógica".

### LÓGICA CLÁSICA

- Esta fase tiene cierta vinculación con la fase lógica y relaciona significado, decisión y conocimiento. Se orienta hacia las aplicaciones en los campos del conocimiento, lenguaje, información y probabilidad.
- En la antigüedad, los filósofos griegos atribuían grados de veracidad y falsedad, es decir grados de pertenencia a los enunciados.
- En la década de los años ochenta se desarrolla la primera aproximación para construir reglas inherentes a la lógica difusa, a partir de datos de entrenamiento utilizados como herramienta para investigar modelos difusos.
- En los años noventa, además de las redes neuronales y los sistemas difusos, hacen su aparición los algoritmos genéticos. Tres técnicas computacionales complementarias que se constituyen en una poderosa herramienta de los campos de sistemas de control en la actualidad.
- Los sistemas difusos son una alternativa a las nociones de pertenencia y lógica que se iniciaron en la Grecia antigua.

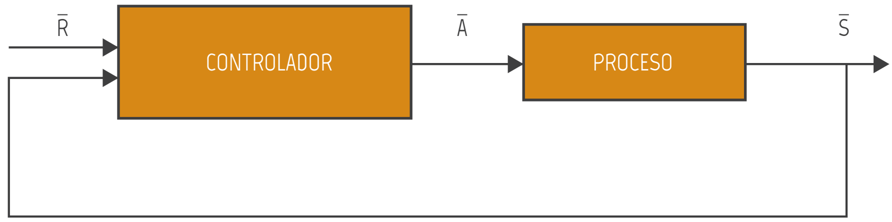


**Figura 2:** Control directo de un proceso o sistema

# CONCLUSIÓN

Lo expresado hasta ahora conduce a la determinación de algunos aspectos que caracterizan a las lógicas clásica y difusa. Caracterizaciones que diversifican la concepción de cada una de ellas, considerando a la lógica clásica como ciencia de los principios formales y normativos del razonamiento, que centra su atención en la forma lógica de adoptar los pensamientos para la construcción de lenguajes formales con claridad y precisión, y a la lógica difusa, como ciencia de los principios formales del razonamiento aproximado, flexible y tolerante con la imprecisión, capaz de modelar problemas no lineales.

En el campo de la lógica clásica, las computadoras compilan datos precisos, transformándolos en cadenas de unos (1) y ceros (0), es decir, procesan la información en función de la lógica booleana y manejan proposiciones que son o ciertas o falsas, base primordial de los actuales sistemas de procesamiento digital. No obstante de sus notables e incuestionables resultados, esta lógica lleva implícita cierta problemática al momento de abordar y procesar situaciones que acarrean consigo información masiva, imprecisa y distorsionada. En la lógica difusa, en cambio, las computadoras analizan información del mundo real, asignan diferentes grados de pertenencia a los elementos de un conjunto, entre verdadero (1) y falso (0), manipulan conceptos imprecisos como "caliente" o "húmedo" -por ejemplo-, y solucionan de esta manera situaciones que no son posibles en la lógica clásica a través de modelos de procesamiento y control, sistemas basados en la lógica borrosa y las redes neuronales.

## SISTEMAS BORROSOS Y REDES NEURONALES

Estamos siendo testigos de un profundo cambio en la orientación de la ciencia, un cambio desde las ciencias de lo natural a las ciencias de lo artificial, de la observación y análisis a la manipulación y la síntesis, y de la búsqueda de la precisión al tratamiento de la omnipresente imprecisión del mundo real. Fragmento del pensamiento redactado por el profesor Zadeh en el prólogo del libro *Redes neuronales y sistemas borrosos* de Martín y Sanz (2010).

La naturaleza, en sus muchísimos años de evolución, ha venido resolviendo y procesando situaciones que involucran información masiva y distorsionada procedente del entorno natural, y ha servido de inspiración para la elaboración de nuevos modelos de procesamiento y control en el manejo eficaz de conceptos vagos e imprecisos, tales como los sistemas neuronales y borrosos, sistemas que llevan a cabo un prototipo de razonamiento aproximado. Estas tecnologías, relativamente jóvenes, permiten la inclusión de un determinado tipo de inteligencia en los sistemas de procesamiento y control, cualidad que, de acuerdo a la opinión de expertos en el tema, coadyuvará ulteriormente en la construcción de computadoras capaces de emular la destreza humana en la toma de decisiones en situaciones imprecisas y con ruido.

## SISTEMAS DE CONTROL BORROSO

A manera de introducción al control borroso, a continuación se describe la estructura típica de un controlador basado en un sistema borroso, según Martín y Sanz (2010).

Los sistemas expertos de control borroso basados en reglas, conocidos como controladores borrosos o FLC (*Fuzzy Logic Controllers*), o también, sistemas de inferencia borrosa o FIS (*Fuzzy Inference Systems*), son sin duda la aplicación más extendida de la lógica borrosa.

Como se puede observar en la figura 2, para controlar un proceso o sistemas se hace uso de un módulo controlador que recibe como entradas una o varias variables de control llamadas generalmente referencias (**R**) y una o varias variables de salida del propio proceso (**S**) produciendo como salida una o varias variables que se conocen como actuadores (**A**). Normalmente el objetivo del control es mantener **R** = **S**, por ejemplo, en el caso de una calefacción doméstica, el controlador recibe una consigna de temperatura que fija el usuario y mide la temperatura de la habitación por medio de un sensor. En función de los valores de estas dos entradas, el controlador conecta o desconecta el sistema de calentamiento, si la calefacción es eléctrica actuando sobre los radiadores de cada habitación, y si es de gas o fuel encendiendo o apagando el quemador.

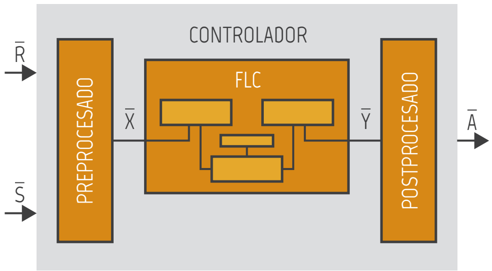


**Figura 3:** Estructura de un controlador (el núcleo FLC es el controlador borroso)

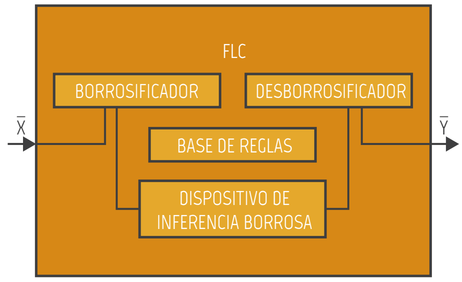


**Figura 4:** Estructura de un controlador borroso o FLC

La estructura típica de un controlador basado en un sistema borroso puede verse en la figura 3. Un primer bloque realiza un procesado de las variables de entrada que proporciona el vector de entradas al controlador borroso o FLC. El controlador borroso aplica la entrada que recibe a la base de reglas para obtener la salida. Finalmente, esta salida puede requerir un procesado final (postprocesado), con el fin de adecuarla al proceso que se ha de controlar, el tipo de preprocesado y postprocesado determina la clase de controlador e influye de forma considerable en sus propiedades.

La estructura interna de un controlador borroso o FLC se muestra en la figura 4. Un primer elemento llamado borrosificador realiza la conversión de valores discretos a términos borrosos. Su salida es utilizada por el dispositivo de inferencia borrosa para aplicarla a cada una de las reglas de la base de reglas, siguiendo el método de inferencia seleccionado.

## REDES NEURONALES

El cerebro humano posee la capacidad de procesar información imprecisa suministrada por los sentidos de una manera increíblemente rápida, y algo más sorprendente todavía, es que aprende, sin instrucciones explícitas de ninguna clase, a crear representaciones internas de habilidades tales como distinguir un murmullo en un ambiente ruidoso, reconocer un rostro en un lugar con poca iluminación, etc. La rapidez con que resuelve estos procesos y la eficiencia de su funcionamiento ha estimulado a científicos e investigadores a imitarlo creando las denominadas Redes Neuronales Artificiales (RNA), éstas tratan de simular a las redes neuronales biológicas, no requieren que las tareas a ejecutar se programen, generalizan y aprenden de la experiencia.

Las RNA no han alcanzado aún la complejidad del cerebro; sin embargo, entre las redes biológicas y las artificiales existen dos características de similitud: la primera establece que las conexiones entre neuronas determinan la función de la red y la segunda se refiere a que los bloques de construcción de las dos redes son elementos computacionales sencillos -desde luego las RNA son mucho más simples que las biológicas-. A diferencia de una computadora en la cual el procesador lee instrucciones y las ejecuta secuencialmente, las RNA responden en paralelo a las entradas correspondientes sin ejecutar instrucciones. La computadora almacena los resultados en una memoria, mientras que una red neuronal no almacena conocimiento a manera de instrucciones en una memoria, su poder radica en su topología y en los valores de las conexiones entre neuronas, denominados pesos.

### Analogías entre una neurona biológica y una neurona artificial

*Xi* Señales de entrada que provienen de otras neuronas y que son capturadas por las dendritas. Son valores reales.

*Wi* Pesos que representan la intensidad de la sinapsis. Valores reales que pueden ser positivos (excitativos) o negativos (inhibitorios).

*O* Función umbral, necesaria para que se active la célula.

En la figura 5, cada una de las señales de entrada X1, X2,……Xn representa una variable continua que pasa a través de un peso sináptico o fortaleza de la conexión, su función es similar a la de la función sináptica de la neurona biológica. Todas las señales de entrada son multiplicadas por los pesos y acumuladas en el nodo (neurona) sumatorio y conducidas hacia la salida por la función umbral (función de transferencia). Una entrada *neta* a cada una de las unidades puede expresarse simbólicamente de la siguiente manera:

$$neta_i = \sum_{i=1}^{n} W_i X_i = XW$$

La figura 6 corresponde a la de un sumador con amplificador operacional, y simboliza una neurona artificial, que simula a una neurona biológica.

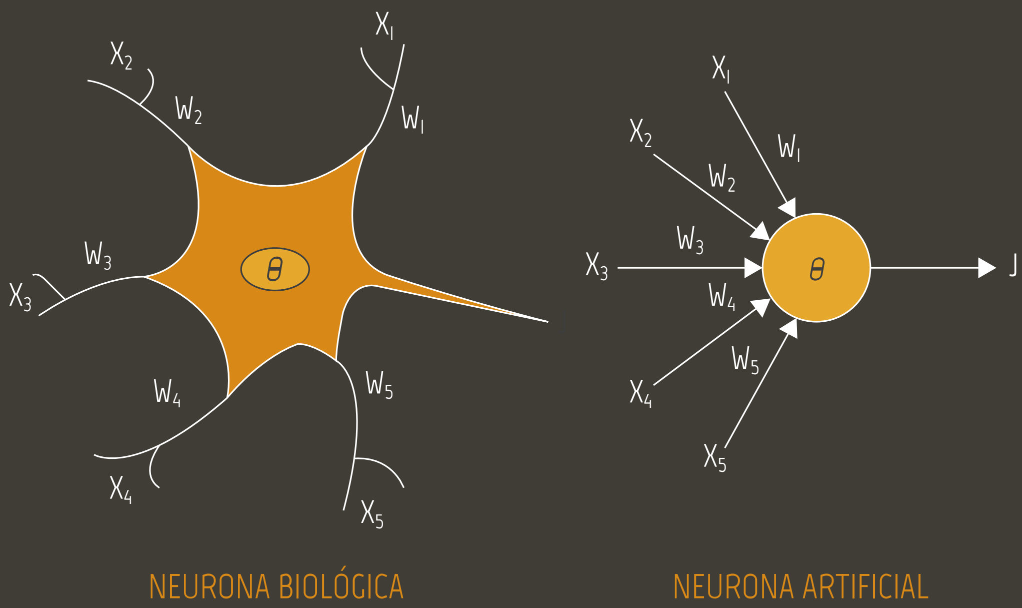


**Figura 5**

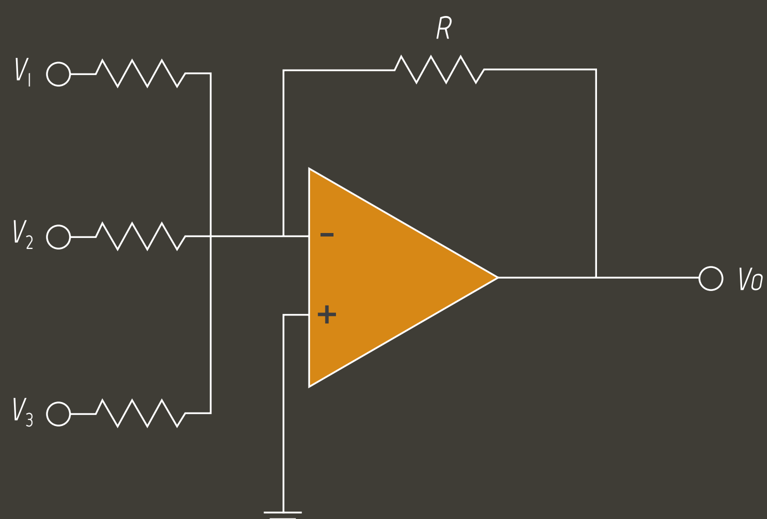


**Figura 6**

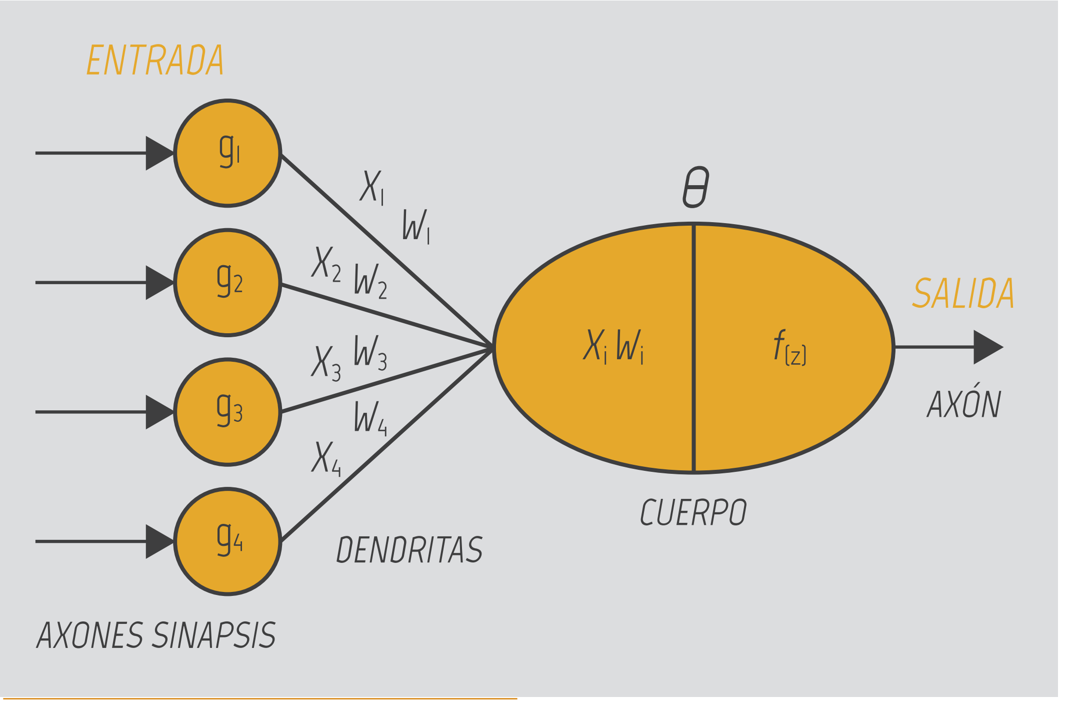


**Figura 7**

## El perceptrón

El perceptrón fue uno de los primeros modelos de redes neuronales que se diseñaron. Pasados los años ochenta, la inteligencia artificial amplió su campo de aplicación con el desarrollo de algoritmos modeladores de procesos mentales de alto nivel como la asociación de conceptos, deducción, inducción y razonamiento. Hay algunos tipos de redes neuronales, se diferencian por su estructura y, además del *perceptrón* se tienen el *Backpropagation, Hopfield,* y *Kohonen*.

El perceptrón trabaja con funciones de activación y simula el comportamiento de la neurona biológica.

La figura 7 representa el esquema de un perceptrón para reconocimiento de patrones.

*Zj*: Sumador lineal de estímulos, representa el cuerpo de la neurona.

*f(zj)*: Función de activación no lineal, utiliza la suma de estímulos para determinar la salida.

Cada entrada es multiplicada por *W*, se suman los resultados y se los evalúa respecto del umbral *O*, el perceptrón se activa cuando este valor es mayor al máximo.

Las redes neuronales varían de acuerdo al uso que se les vaya a dar a cada una de ellas, razón por la cual son de diferentes modelos de aprendizaje y tipologías. Según los estudiosos del tema, son múltiples sus áreas de aplicación, entre otras: monitoreo, diagnóstico, control de eficiencia de máquinas, predicciones en el tiempo, decisiones, optimización, diseño, sonares, mercadotecnia, análisis de inversiones, valoración de efectos sísmicos, solución de problemas de gerencia de construcción, control activo estructural y diagnósticos de daño, pronóstico de caudales y nivel de agua de los ríos. En el campo industrial, las redes neuronales son ampliamente utilizadas, empleando modelos de ingeniería que incluyen conocimiento científico y tecnológico en la industria cervecera, química, aérea, de alimentos, de acero, vidrio, cemento y de las telecomunicaciones.

La teoría de las RNA se encuentra en fase de desarrollo y no ha alcanzado todavía su auténtica potencialidad. Si bien, los investigadores han desarrollado potentes algoritmos de aprendizaje de gran valor práctico, las representaciones y procedimientos de que se sirve el cerebro son aún desconocidas. Los estudios computacionales del aprendizaje con RNA, en algún momento ulterior, terminarán convergiendo hacia los métodos descubiertos por evolución, entonces, será cuando muchos datos empíricos inherentes al cerebro, comenzarán repentinamente a adquirir sentido y se tornarán realizables muchas aplicaciones desconocidas de las redes neuronales.

# BIBLIOGRAFÍA:


- Anderson, J. 2007. *Redes neuronales*, Alfaomega, México.

- Escobar, G., 1999. *Lógica, nociones y aplicaciones*, McGRAW-HILL, México.

- Gallego, R., 1999. *Flujo de carga*, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

- Grimaldi, R. 1998. *Matemáticas discreta y combinatoria*, Addison Wesley Longman, México.

- Johnson, S. 2003. *Sistemas emergentes*, Turner, España.

- Martín del B., Sanz, M., 2010. *Redes neuronales y sistemas borrosos*, Alfaomega, México.

- Pérez, T., 2003. ¿*Existe el método científico*? (3ra Ed.). Colección La Ciencia para Todos, México.

- Ponce, C., 2011. *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*, Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V., México.

- Puche, N. 2009. ¿*Es la mente no lineal*?, Programa Editorial Universidad del Valle, Colombia.

- Tremblay, J., 2000. *Matemática discreta con aplicaciones a las ciencias de la computación*, Compañía Editorial Continental, México.