



INGENIERÍA DE CONTROL 2

Sesión 13



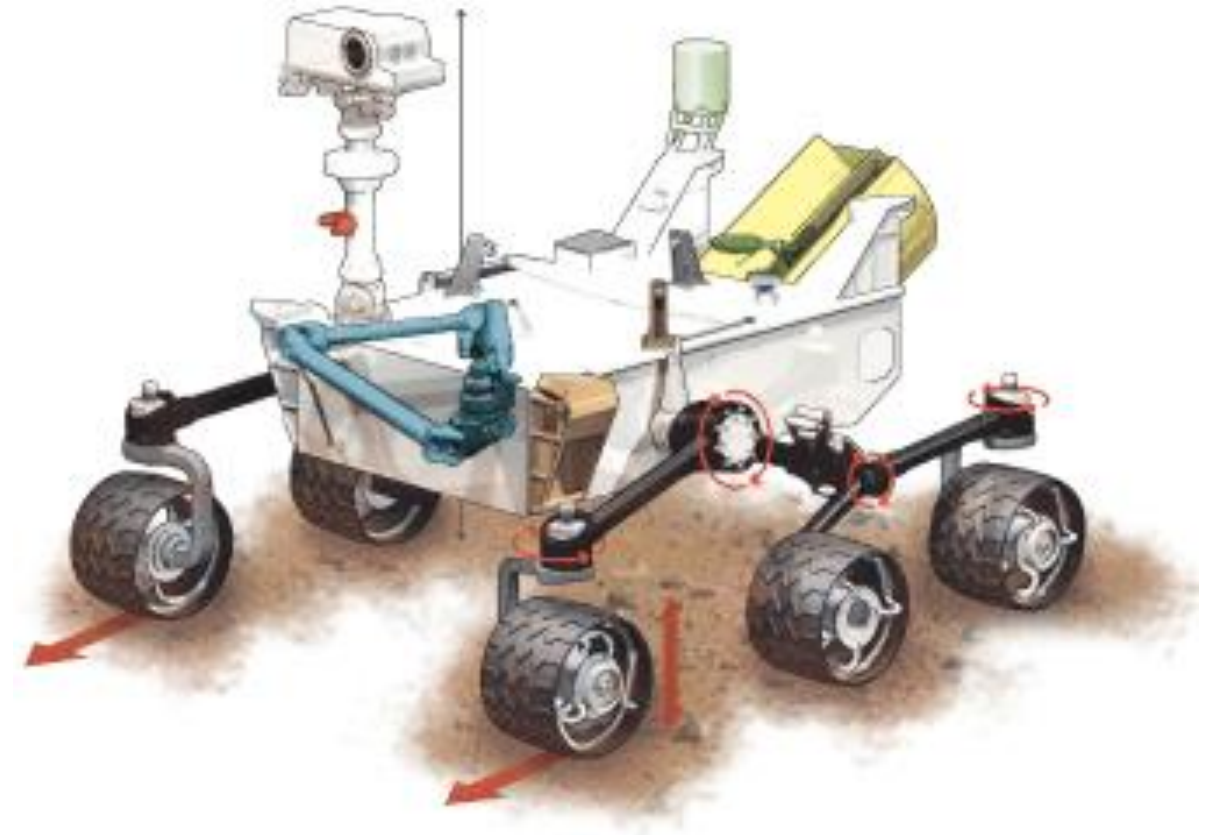
Vehículo Autónomo

- Modelamiento y Control

Motivación



- Control
- Modelamiento
- Trayectoria
- Fuzzy

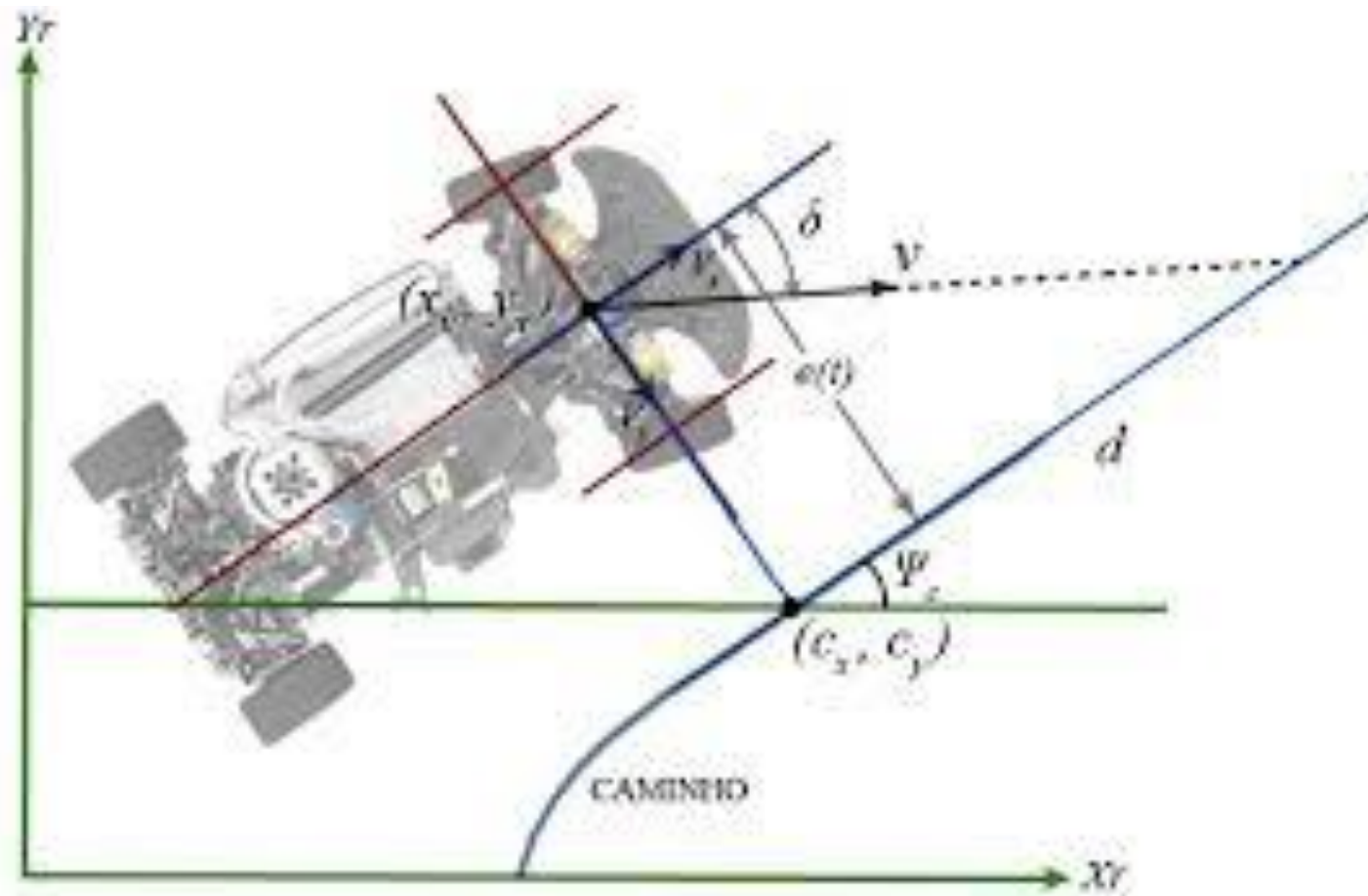




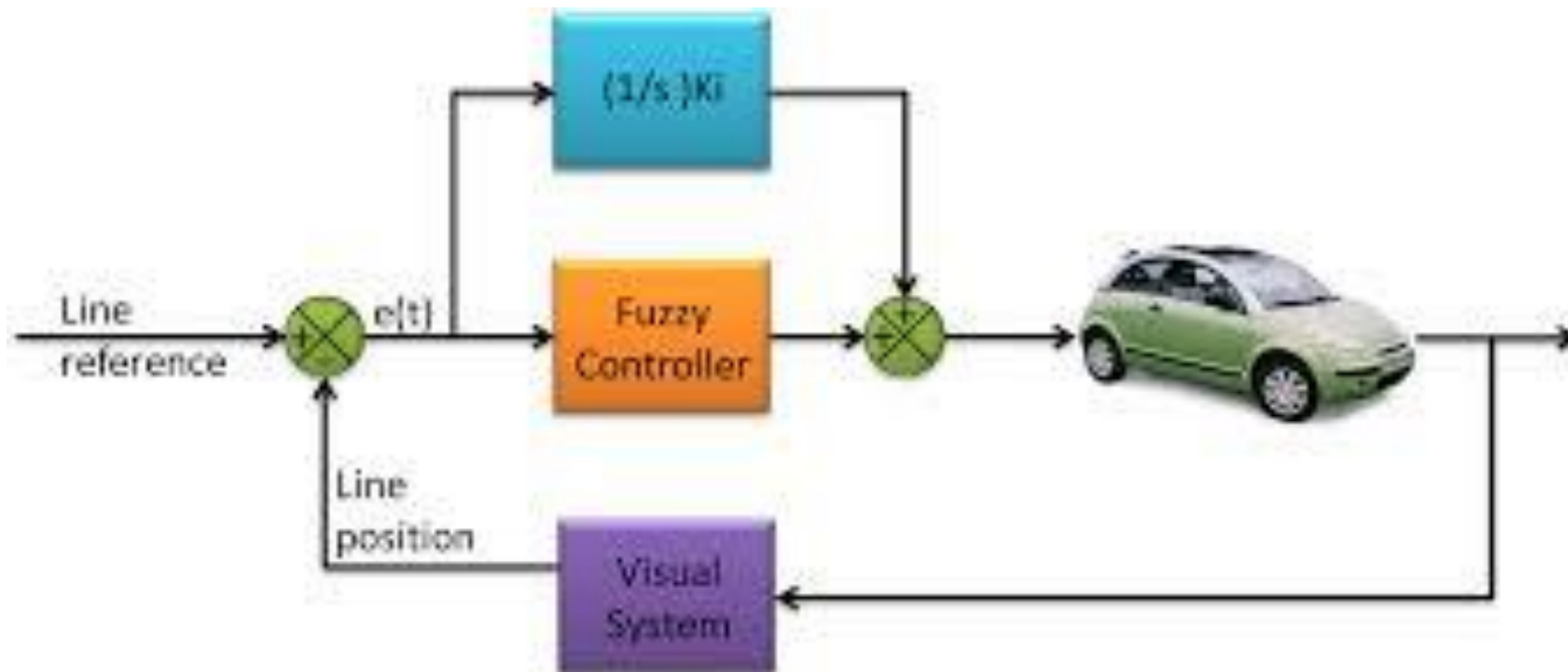
Vehículo autónomo tipo carro

<https://www.youtube.com/watch?v=79sWgGfMXKY>

Geometría



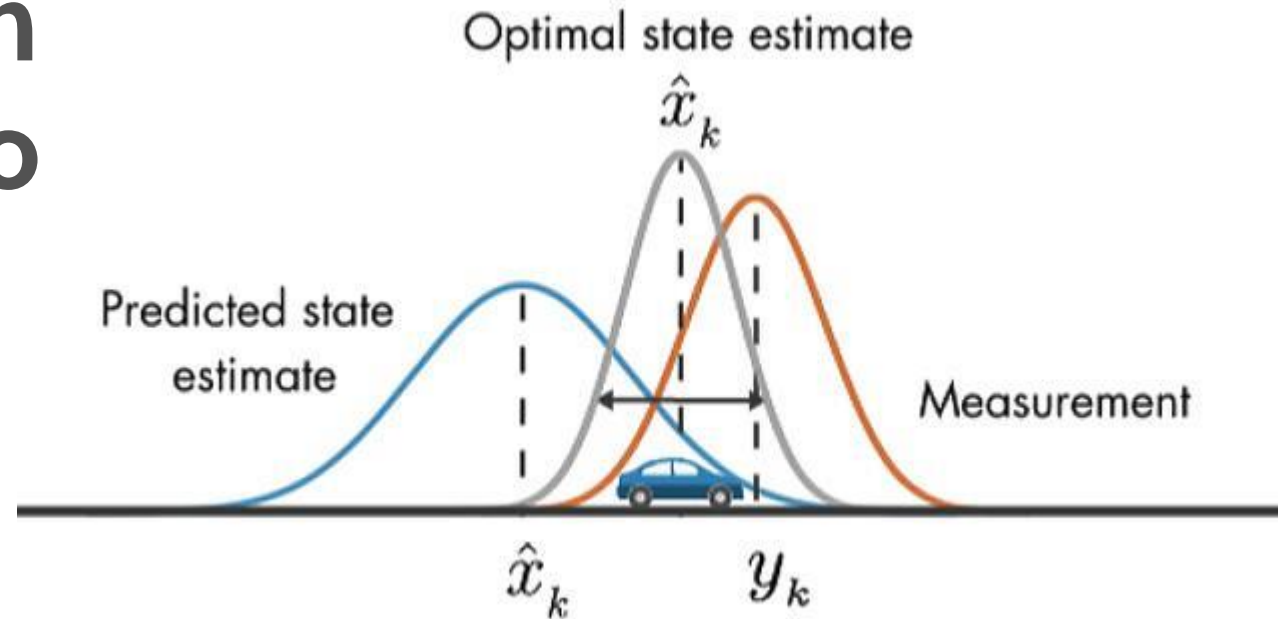
LOGICA FUZZY – TAKAGI SUGENO



Sensado de Parámetros para el control



- Filtro Kalman
- Acelerómetro
- Encoder



Vehículo autónomo tipo trailer



- Modelamiento
- Control
- Simulación





Vehículo autónomo tipo trailer

<https://www.youtube.com/watch?v=u9z8zVsoyz8>



- El modelo del vehículo autónomo tipo carro tiene aplicaciones en la industria, manufactura, recreación, etc.
- El modelo es de mayor seguridad y confianza
- El modelo tipo tráiler tiene aplicaciones en la industria, transporte, minería, etc.



Control fuzzy



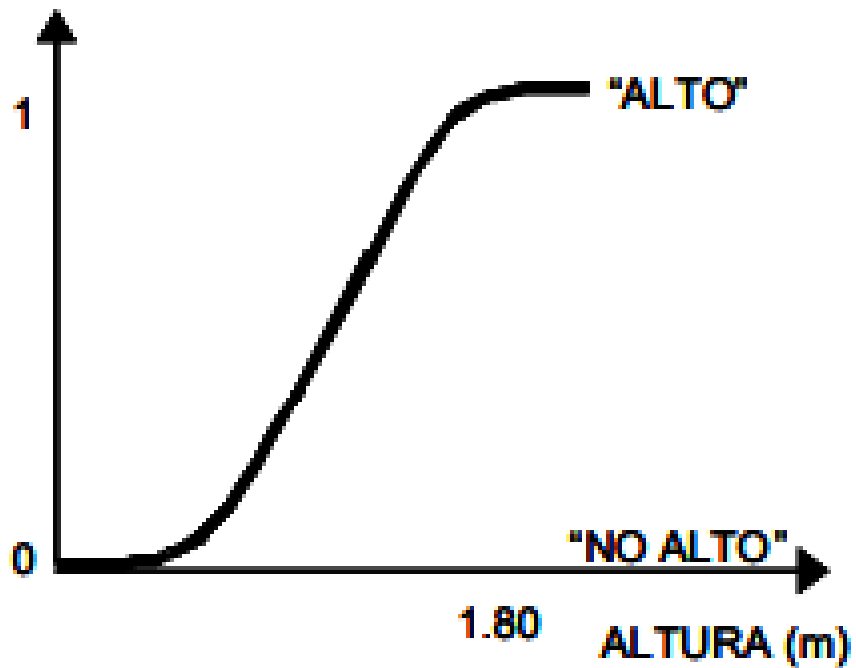
Una de la disciplinas matemáticas con mayor numero de seguidores actualmente es la llamada lógica difusa o borrosa, que es la lógica que utiliza expresiones que no son ni totalmente ciertas ni completamente falsas, es decir, es la lógica aplicada a conceptos que pueden tomar un valor cualquiera de veracidad dentro de un conjunto de valores que oscilan entre dos extremos.

- La logica difusa es una extension de la logica tradicional (Booleana) que utiliza conceptos de pertenencia de sets mas parecidos a la manera de pensar humana
- El concepto de un subset difuso fue introducido por L.A. Zadeh en 1965 como una generalización de un subset exacto (crisp subset) tradicional.
- Los subsets exactos usan lógica Booleana con valores exactos como por ejemplo la lógica binaria que usa valores de 1 o 0 para sus operaciones.

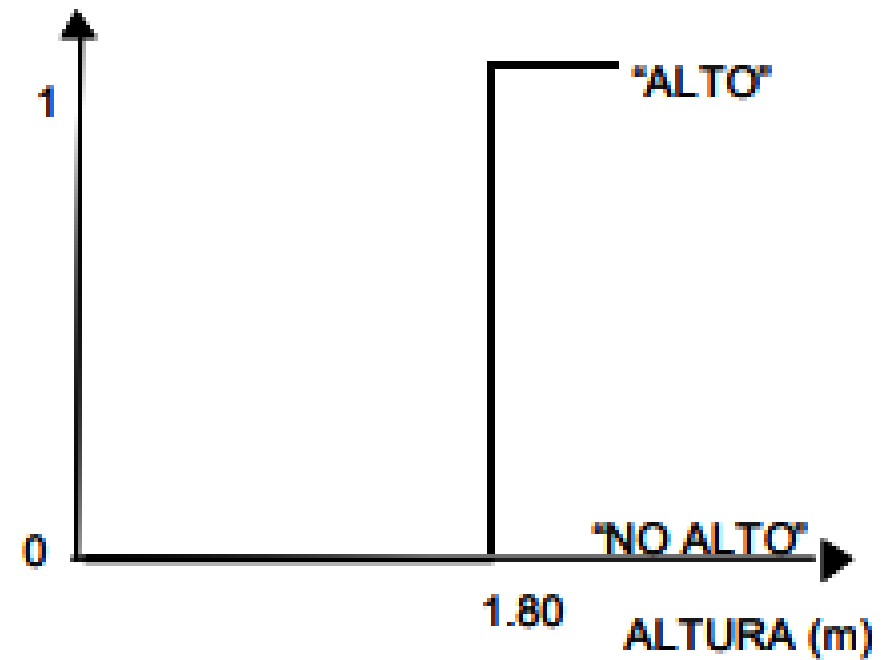
Control fuzzy



VISIÓN DE LA LÓGICA DIFUSA



VISIÓN DE LA LÓGICA CLÁSICA



Control fuzzy



- Por ejemplo se considera a una persona como alta si mide mas de 1.80mts, pero de igual forma se considera a una persona como alta si mide 1.7999mts
- Esta consideración no existe en la logica tradicional que utiliza demarcaciones estrictas para determinar pertenencia en sets:
- Ejemplo: A es el set clásico de personas altas

$$A = \{ x \mid x > 1.8 \}$$

Una persona que mide 1.799999mts es baja!

- La lógica difusa no usa valores exactos como 1 o 0 pero usa valores entre 1 y 0 (inclusive) que pueden indicar valores intermedios (Ej. 0, 0.1, 0.2, ..., 0.9, 1.0, 1.1, ...etc)
- La lógica difusa también incluye los valores 0 y 1 entonces se puede considerar como un superset o extensión de la lógica exacta.



Set difuso

- Asumiendo que X es un set, un set difuso A en X es asociado con una función característica: $\mu_A(x)$

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$$

- La función característica es típicamente denominada función de pertenencia (membership function).



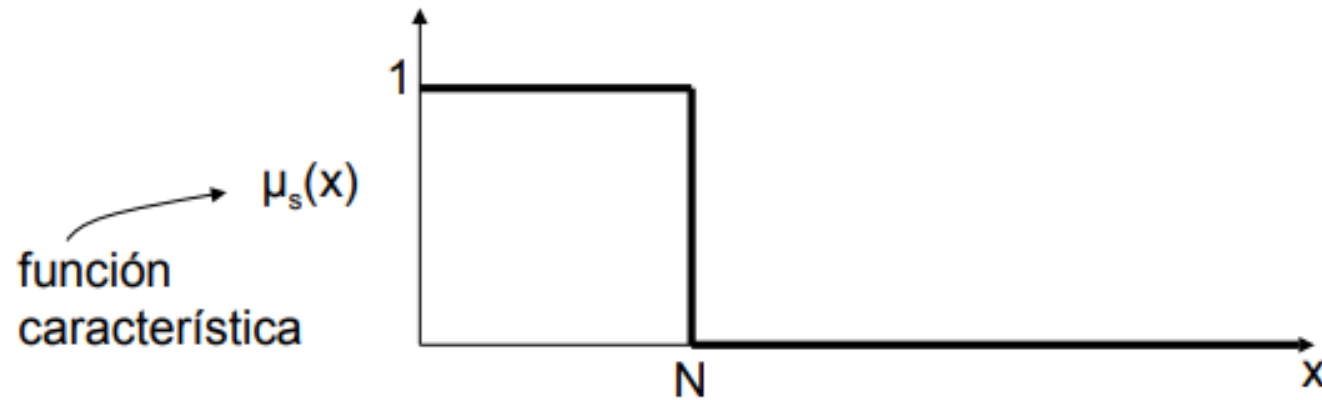
Función de pertenencia (o membresía)

- El valor asignado por $\mu_F(x)$ corresponde al grado en el cual el valor x tiene el atributo F .
- Visto de otra manera la función $\mu_F(x)$ nos indica cual es el grado de pertenencia de x al atributo F .
- La función $\mu_F(x)$ se llama la función de pertenencia del atributo F .
- La función tiene que ver con un grado de ambigüedad sobre la característica de la variable que se esta midiendo pero no es una probabilidad

Control fuzzy



Un set exacto (crisp set) :



$$\{S \subset X : 0 \leq S \leq N\}$$

par binario

$$\mu_S : X \rightarrow \{0, 1\}$$

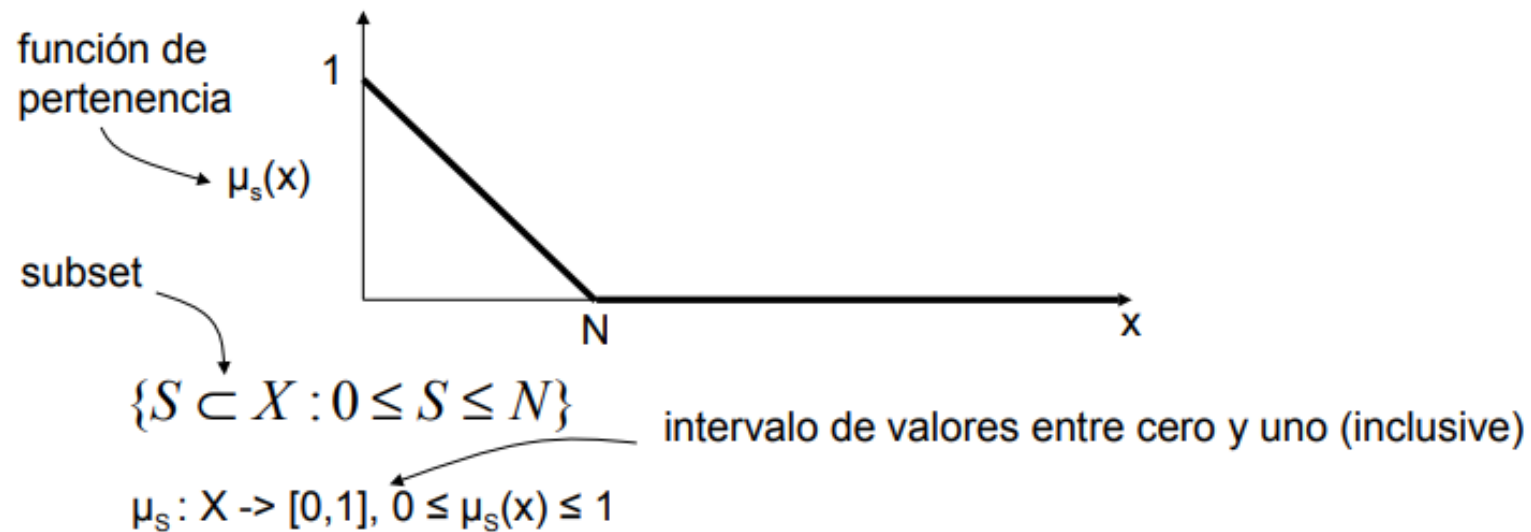
$\mu_S(x) = 1$ si x es un miembro de S

$\mu_S(x) = 0$ si x no es un miembro de S

Control fuzzy



Un set difuso (fuzzy set):

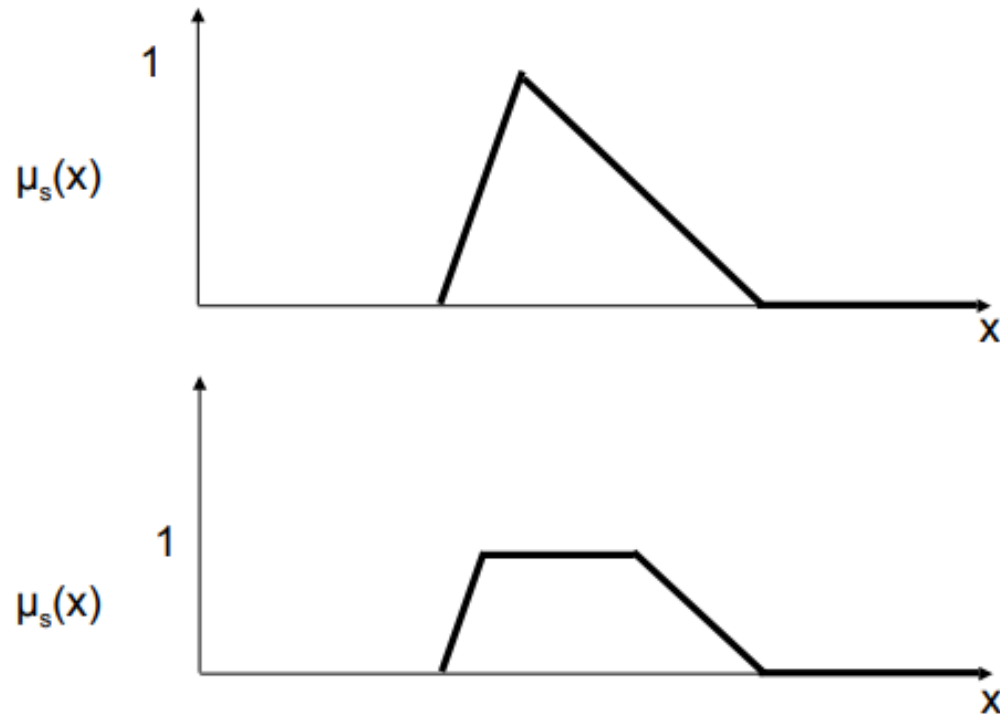


$\mu_S(x) = 0$ si x es 0% miembro de S ,..., $\mu_S(x) = 0.10$ si x es 10% miembro de S ,...,
 $\mu_S(x) = 0.20$ si x es 20% miembro de S ,..., $\mu_S(x) = 1$ si x es 100% miembro de S

Control fuzzy



Otros sets difusos (cont):

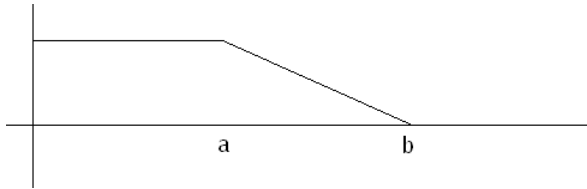


Hay muchas posibilidades de como representar un set difuso.

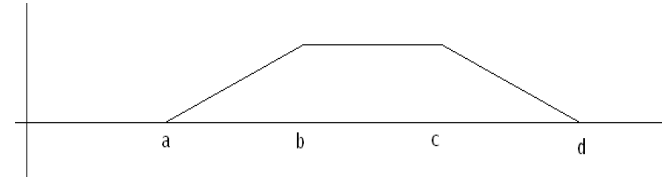
Control fuzzy



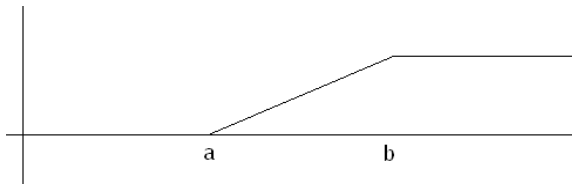
- Ele



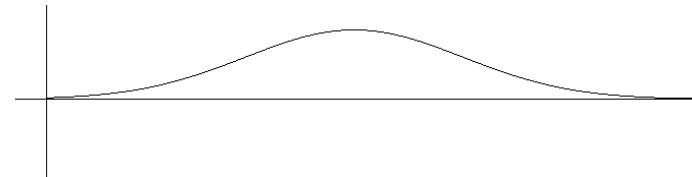
- Pi



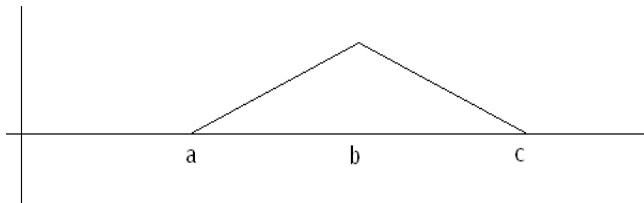
- Ese



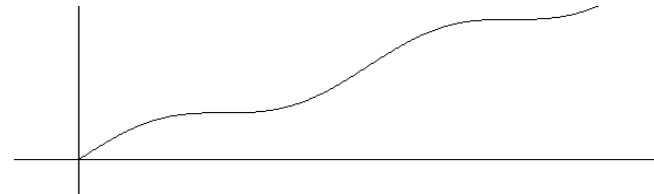
- Gaussiana



- Triangular



- Función



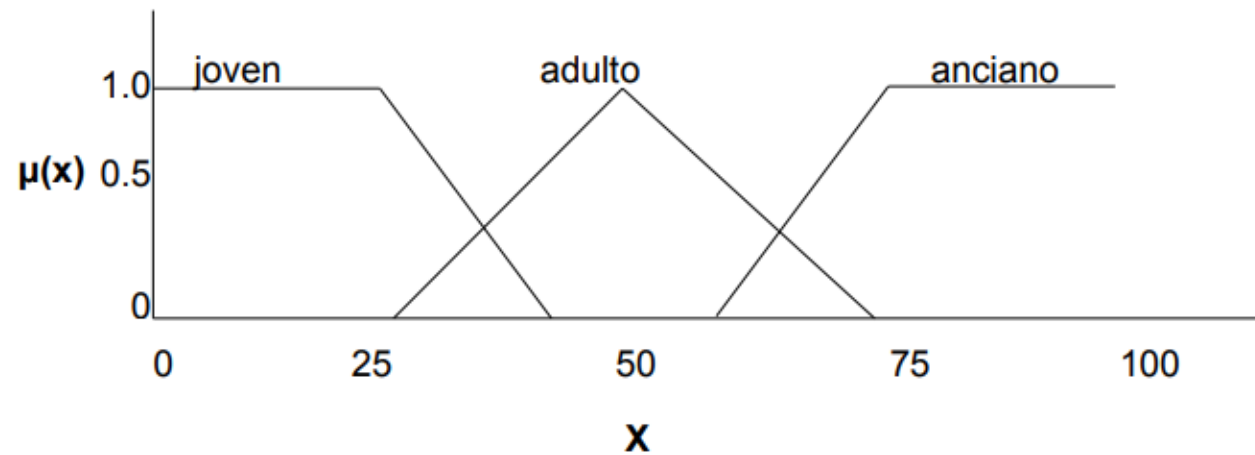
Control fuzzy



Variables Lingüísticas

Se usan variables lingüísticas para analizar y modelar un sistemas:

Ej: Supongamos que $X = \text{"edad"}$, se pueden definir set difusos: "joven", "adulto", "anciano"



Control fuzzy



Variables Lingüísticas

Tenemos que una variable lingüística esta caracterizada por una quintupla

$$(X, T(X), U, G, M)$$

donde:

Control fuzzy



X: nombre de la variable.

T: conjunto de términos de X ; es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas).

U: es el universo del discurso (o dominio subyacente). Por ejemplo, si hablamos de temperatura “Cálida” o “Aproximadamente 25°C”, el dominio subyacente es un dominio numérico (los grados centígrados).

Control fuzzy



G: es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos en $T(X)$, como podrían ser “muy alto”, “no muy bajo”, ...

M: es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de X su significado $M(X)$ ($M(X)$ denota un subconjunto difuso en U).



Ejemplo:

Si se usa la temperatura tendríamos lo siguiente:

- X: Temperatura.
- T: Caliente, Tibia y Fría.
- U: grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).
- G: Términos como “muy frio”, “muy caliente”, etc.
- M: Las funciones de pertenencia de los tres conjuntos difusos (“Caliente”, “Tibia” y “Fría”).

Control fuzzy

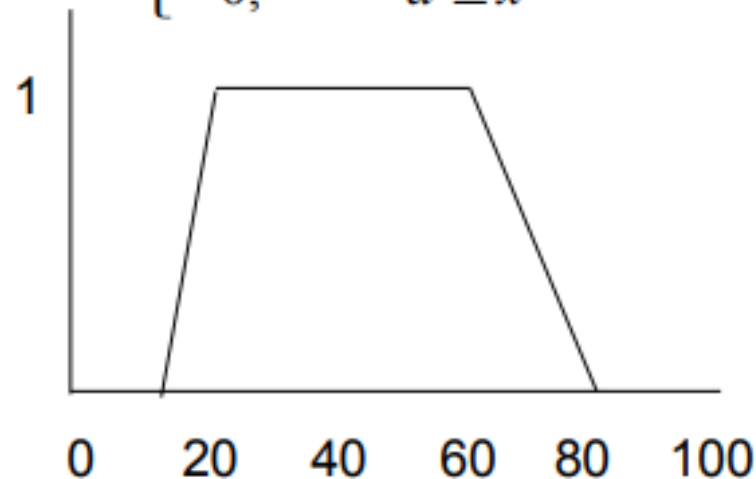


Funciones de pertenencia

- Función de pertenencia trapezoidal:

$$\mu_{trapezoidal}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$

Ej: $\mu_{trapezoid}(x; 10, 20, 60, 95)$



Control fuzzy

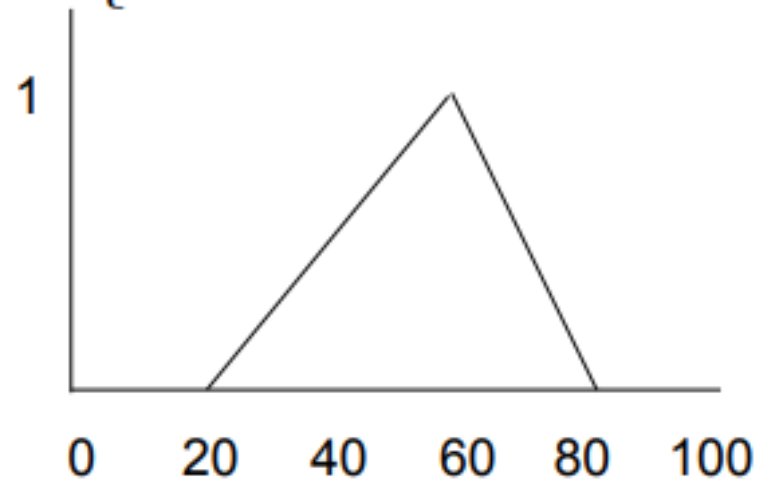


Funciones de pertenencia

- Función de pertenencia triangular:

$$\mu_{\text{triángulo}}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

Ej: $\mu_{\text{triangle}}(x; 20, 60, 80)$



Control fuzzy

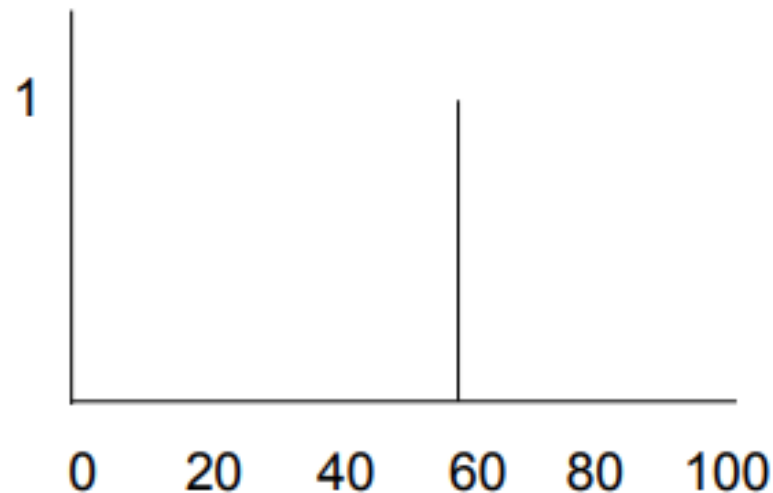


Funciones de pertenencia

- Función de pertenencia llamada un singleton, tiene un valor único cuando $x = a$ (es como una función delta de Dirac):

$$\mu_s(x; a) = \begin{cases} 0, & x = a \\ 1, & x \neq a \end{cases}$$

Ej: $\mu_{\text{singleton}}(x; 60)$



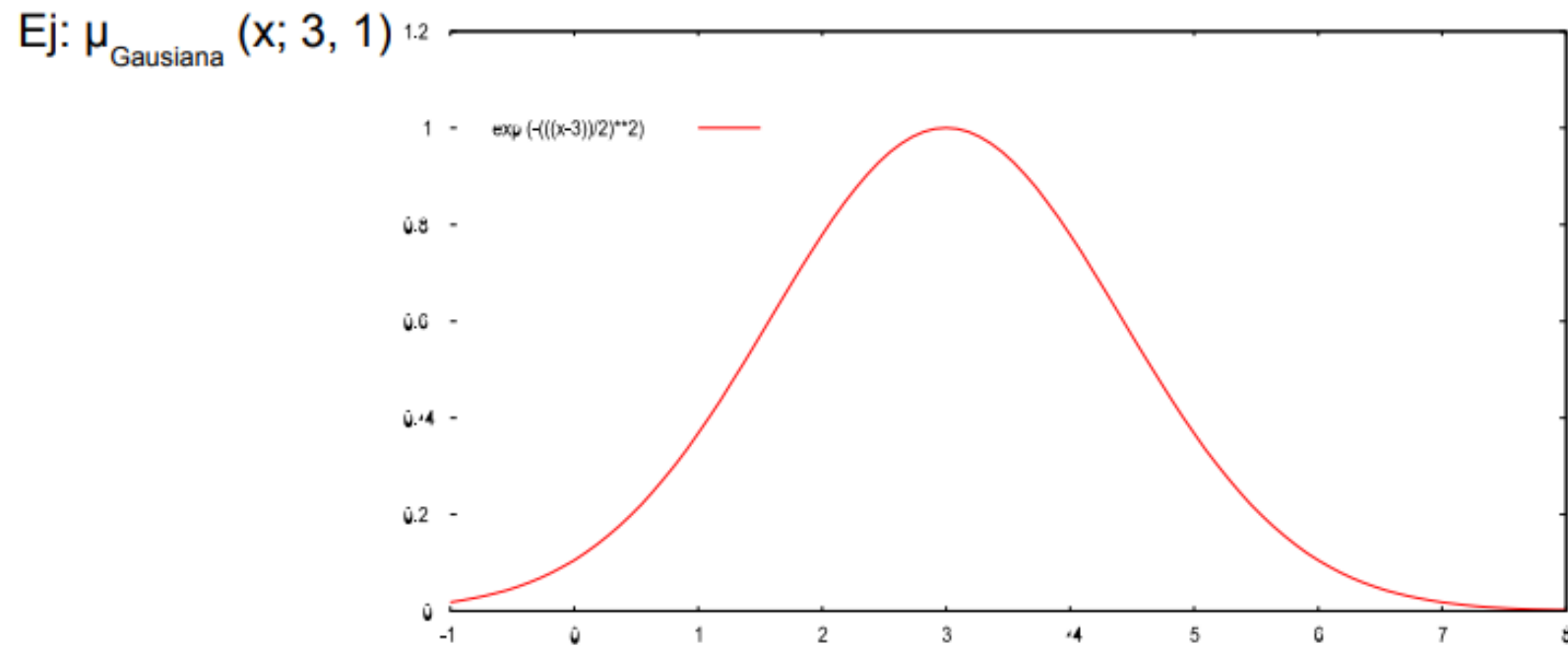
Control fuzzy



Funciones de pertenencia

- Gausiana

$$\mu_{Gausiana}(x; c, \sigma) = e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-c}{\sigma} \right)^2}$$



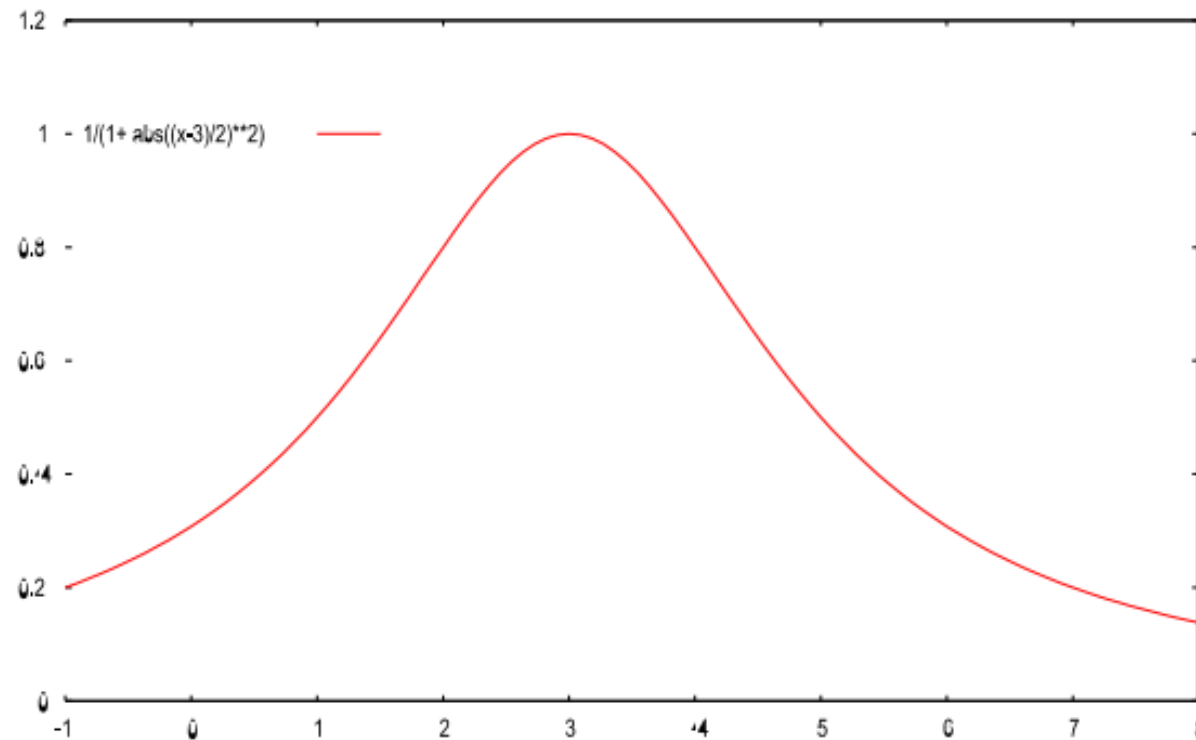


Funciones de pertenencia

- Bell

$$\mu_{Bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

Ej: $\mu_{Bell}(x; 2, 1, 3)$





Funciones de pertenencia

A la hora de determinar una función de pertenencia, normalmente se eligen funciones sencillas, para que los cálculos no sean complicados. En particular, en aplicaciones en distintos entornos, son muy utilizadas las triangulares y las trapezoidales.



En la actualidad, una de las áreas de aplicación mas importantes de la Teoría de Conjuntos Difusos y de la Lógica Difusa la componen los Sistemas Basados en Reglas Difusas (SBRDs).

Este tipo de sistemas constituyen una extensión de los Sistemas Basados en Reglas que hacen uso de la Lógica Clásica puesto que emplean reglas del tipo “SI-ENTONCES” (IF-THEN) en las que los antecedentes y consecuentes están compuestos por proposiciones difusas en lugar de proposiciones clásicas.



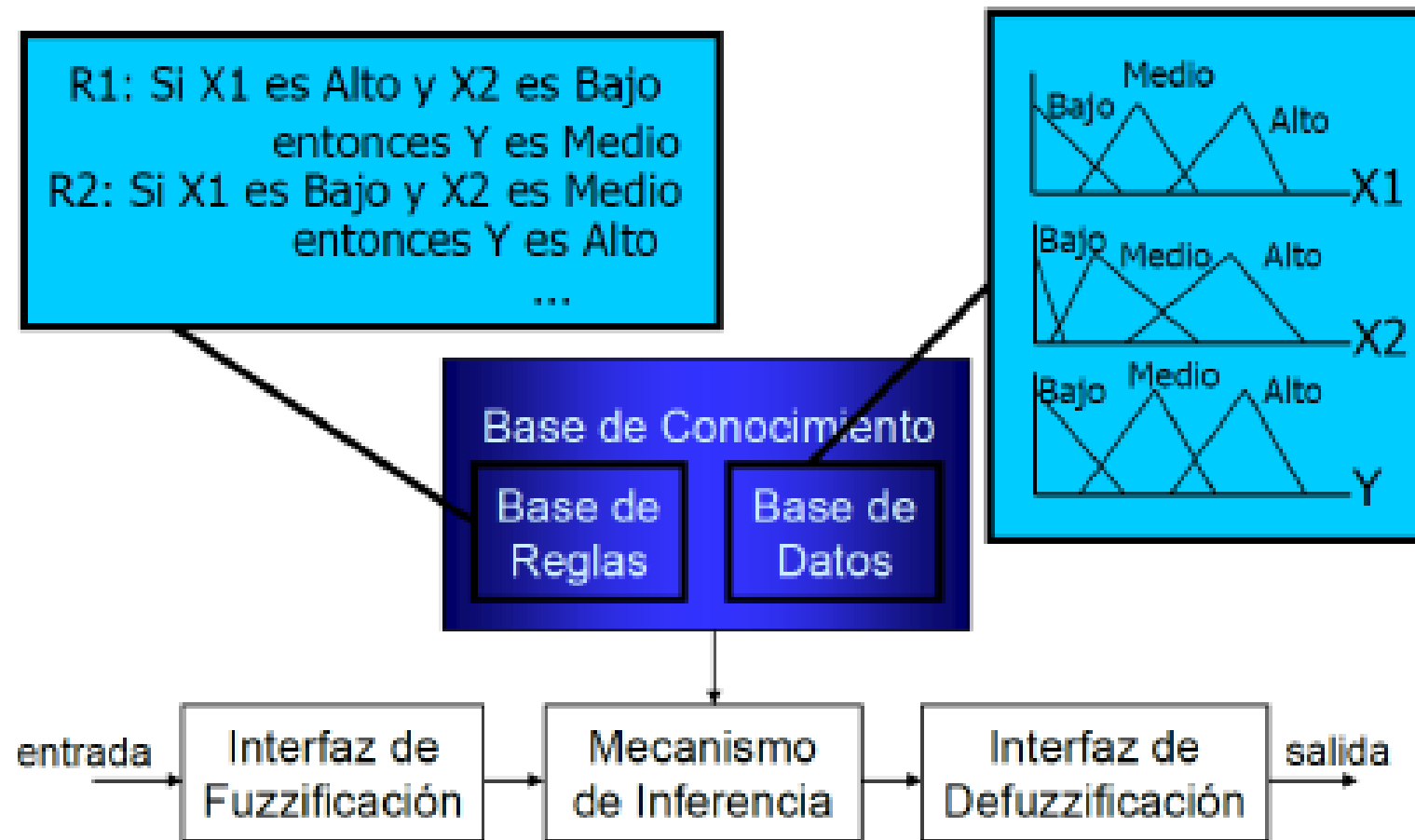
La Base de Conocimiento (BC) representa el conocimiento disponible sobre el problema en el sistema. Se expresa en forma de reglas lingüísticas. La base del conocimiento puede construirse de varias formas, pero una de las mas habituales es la de hacerse con los servicios de un experto o experta en la materia, y que el o ella sea el encargado de decidir cuales son los parámetros de mayor importancia y de establecer las relaciones existentes entre ellos.



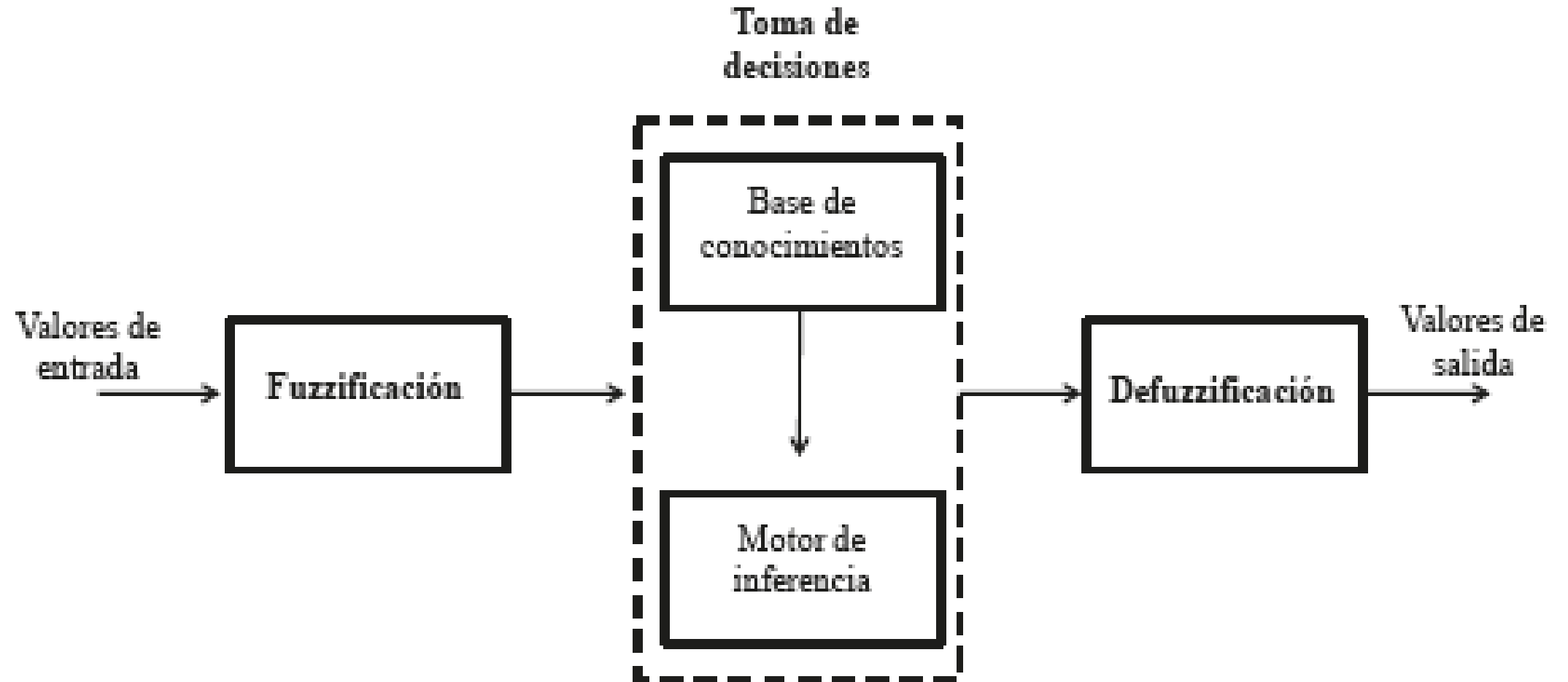
La Base de Conocimiento se compone de:

- **La Base de Reglas (BR)**, que contiene el conjunto de reglas difusas que serán empleadas en el sistema.
- **La Base de Datos (BD)**, que almacena los conjuntos de términos lingüísticos y las funciones de pertenencia que definen su semántica.

Control fuzzy



Control fuzzy



Control fuzzy



Sistemas de inferencia usando lógica difusa:

- El sistema de inferencia difuso consiste de tres componentes conceptuales:
 - reglas difusas,
 - diccionario (con funciones de pertenencia),
 - mecanismo de raciocinio





Reglas IF-THEN difusas:

Una regla IF-THEN difusa es de la forma

IF x is A THEN y is B

En la cual A y B son variables lingüísticas definidas por sets difusos en los universos X e Y . La parte **IF** x is **A** es llamada el antecedente o premisa, mientras la parte **THEN** y is **B** es la consecuencia o conclusión

Ejemplos:

- If presión es alta, then volumen es pequeño.
- If carretera esta mojada, then manejar es peligroso.



IF <antecedente o condición> THEN <consecuente o conclusión>

El <antecedente> y el <consecuente> son Propositiones Difusas que pueden formarse usando conjunciones (AND) o disyunciones (OR). En los sistemas de reglas clásicos, si el antecedente es verdadero, el consecuente es también verdadero. En sistemas donde el antecedente es difuso, todas las reglas se ejecutan parcialmente, y el consecuente es verdadero en cierto grado.

Control fuzzy



El Modus Ponens en reglas de lógica tradicional indica que podemos inferir la verdad de la proposición B basados en la verdad de A y en la implicación $A \rightarrow B$:

premisa 1 (input):	x es A
premisa 2 (regla):	if x es A then y is B,
consecuencia:	y es B

El proceso de razonamiento difuso utiliza el Modus Ponens Generalizado (GMP):

premisa 1 (input):	x es A'
premisa 2 (regla):	if x es A then y is B,
consecuencia:	y es B'



Ejemplo:

Si trabajamos en un invernadero en el que se tiene una válvula que podemos abrir o cerrar para modificar la temperatura del interior del invernadero. El universo de cada variable difusa es representado por 5 conjuntos difusos con el fin de obtener una buena respuesta. Identificar las entradas y salida, los set difusos, las funciones de pertenencia y las reglas necesarias que se debe incluir para lograr un buen control. Considerar todas las funciones solo triangulares.



Sistemas de inferencia usando lógica difusa (cont):

- Esto se denomina fuzzificación y defuzzificación.

