Tema 8. Lógica Difusa

Francisco José Ribadas Pena

MODELOS DE RAZONAMIENTO Y APRENDIZAJE
5º Informática
ribadas@uvigo.es

17 de mayo de 2010

8.1 Introducción

- Lógica difusa/borrosa/"fuzzy"
- L. Zadeh (1965): aplica lógica multivaluada a la teoría de conjuntos
- Problemas aproximaciones clásicas:
  - Conceptos sin definición clara: ser alto, ser joven, estar muy cerca,...
  - Lógica clásica (bivaluada) demasiado restrictiva.
    $\longrightarrow$ hay afirmaciones que pueden no ser ni VERDADERAS ni FALSAS
  - Objetos del mundo real no tienen criterios de pertenencia definidos de forma precisa
- Util para representar:
  - conceptos que tengan imprecisión/incertidumbre y operar con ellos
  - procesos complejos, procesos no lineales.
  - manejar experiencia basada en conceptos imprecisos
  - partes del sistema desconocidas o que no pueden medirse de forma fiable
- Principales aplicaciones:
  - Sistemas Expertos Difusos
  - Control de sistemas (tráfico, vehículos, electrodomésticos,...)

8.2 Conjuntos Difusos

- Formalismo de representación de la imprecisión y la incertidumbre
- Generalización de la teoría convencional de conjuntos
- Elementos pertenezcan parcialmente a más de un conjunto con diferentes grados de pertenencia
- Posibilidad de tratamiento lingüístico de dichos elementos
- Combinan dos tipos de computaciones:
  - Numérica: cálculos con valores numéricos
  - Simbólica: usada en I.A.

Definición

- Conjuntos Difusos:
  - Un conjunto difuso A en un dominio D, viene caracterizado por una **función de pertenencia** $f_A(x)$ que asocia a cada elemento x del dominio, un valor en el intervalo $[0, 1]$ que determina su grado de pertenencia a ese conjunto.
    - se relaja la función de pertenencia, $f_A(x) \in [0, 1]\ \forall x \in D$
    - valores extremos: $\begin{cases} 0 \text{ (no pertenencia a } A) \\ 1 \text{ (pertenencia total a } A) \end{cases}$
- Conjuntos Clásicos: Caso particular de los conjuntos difusos
  - Función de pertenencia discreta: $f_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases}$

(a) Funciones de pretenencia

- Representación de conjuntos difusos mediante **función de pertenencia** f_A (notación funcional)
  - Dependen del concepto a definir, del contexto, de la aplicación...
  - Preferible funciones simples $\Rightarrow$ (simplifican cálculos, no pierden exactitud)
  - En universos discretos $\Rightarrow$ mediante conjunto de pares (notación extensional)

  elemento $x \in D$ / *grado de pertenencia a* A

  Ejemplo: concepto difuso "cerca de 4"

  $$A = \{0/0, 1/0{,}1, 2/0{,}6, 3/1, 4/1, 5/1, 6/0{,}6, 7/0{,}1, ...\}$$

- Funciones de Pertenencia Típicas:

TRIANGULAR TRAPEZOIDAL

ESCALÓN Otras (sigmoidal, gausiana,...)

(b) Caracterización de un Conjunto Difuso

- **Altura:** mayor valor la función de pertenencia: $max_{x \in D}\{A(x)\}$
- **Soporte:** elementos de D que pertenecen a A con grado > 0:

$$Soporte(A) = x \in D | A(x) > 0$$

- **Núcleo:** elementos de D que pertenecen al conjunto con grado 1:

$$Nucleo(A) = x \in D | A(x) = 1$$

- α-**Corte:** elementos de D con grado de pertenencia de al menos α:

$$A_\alpha = \{x \in D | A(x) \leq \alpha\}$$

- **Teorema de Representación:** Todo conj. difuso puede descomponerse en una familia de conjs. difusos.
  - Cualquier conjunto difuso puede reconstruirse a partir de una familia de sus α-cortes

(c) Propiedades de Conjuntos Difusos

- **Conjunto Vacío:** un conj. difuso es vacío si su función de pertenencia es siempre 0.

$$f_A(x) = 0 \; \forall x \in D$$

- **Igualdad:** dos conjuntos difusos, definidos en el mismo universo D, son iguales si tienen la misma función de pertenencia:

$$A = B \text{ sii } f_A(x) = f_B(x), \; \forall x \in D$$

- **Inclusión:** un conjunto difuso, A, está incluido en otro, B, si su función de pertenencia toma valores más pequeños:

$$A \subseteq B \text{ sii } f_A(x) \leq f_B(x), \; \forall x \in D$$

(d) Operaciones sobre conjuntos difusos

- Operaciones Binarias (definición original, Zadeh)

Unión: $\boxed{A \cup B : f_{A \cup B}(x) = max\{f_A(x), f_B(x)\}}$

Intersección: $\boxed{A \cap B : f_{A \cap B}(x) = min\{f_A(x), f_B(x)\}}$

Complementación: $\boxed{\neg A : f_{\neg A(x)} = 1 - f_A(x)}$

  - Generalización de las operaciones sobre conjuntos clásicos.
  - Otras funciones de combinación posibles: $\begin{cases} \underline{\text{unión}}\text{: suma acotada} \\ \underline{\text{intersección}}\text{: producto} \end{cases}$

- Propiedades

Conmutativa:	$A \cup B = B \cup A, \quad A \cap B = B \cap A$
Asociativa:	$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C = A \cup B \cup C$
	$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C = A \cap B \cap C$
Idempotencia:	$A \cup A = A, \quad A \cap A = A$
Distributiva:	$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$
	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$
DeMorgan	$\neg(A \cup B) = \neg A \cap \neg B$
	$\neg(A \cap B) = \neg A \cup \neg B$

NO SATISFACEN: $\begin{cases} \text{Contradicción :} & A \cap \neg A \neq \emptyset \\ \text{Medio excluido:} & A \cup \neg A \neq D \end{cases}$

(e) Relaciones Difusas

- Permiten trabajar con combinaciones de más de un universo.
- Representan una asociación entre 2 o más elementos.
- Relación difusa: elementos pueden pertenecer a la relación parcialmente.
- **Definición:** Una **relación difusa** R en D es un conjunto difuso en el espacio producto $D \times D$. ($R \subseteq D \times D$)
  - Función grado de pertenencia: $f_R(x, y) : D \times D \rightarrow [0, 1]$
  - En universos discretos $\longrightarrow$ matrices de valores $[0, 1]$
  - Ejemplo: relación "aproximadamente igual que" ($x \approx y$). Conjunto difuso en $\mathbb{N}^2$, con la función de pertenencia:

$$f_{\approx} = \begin{bmatrix} 1 & 0{,}8 & 0{,}5 & 0{,}2 & 0 & 0 \\ 0{,}8 & 1 & 0{,}8 & 0{,}5 & 0{,}2 & 0 \\ 0{,}5 & 0{,}8 & 1 & 0{,}8 & 0{,}5 & 0{,}2 \\ 0{,}2 & 0{,}5 & 0{,}8 & 1 & 0{,}8 & 0{,}5 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}5 & 0{,}8 & 1 & 0{,}8 \\ 0 & 0 & 0{,}2 & 0{,}5 & 0{,}8 & 1 \end{bmatrix}$$

- Incluye a las relaciones entre conjuntos clásicos.
- Extensión a n-dimensiones: R conjunto difuso en $D \times D \times ... \times D$

$$f_R(x_1, ..., x_n) : D \times D \times ... \times D \rightarrow [0, 1]$$

- Distintos universos:
  - Siendo D_1 y D_2 dos universos, una relación difusa R entre D_1 y D_2 es un conjunto difuso definido en $D_1 \times D_2$.
  - Función de pertenencia: $f_R(x, y) \in [0, 1], \ x \in D_1, y \in D_2$
  - Ejemplo: Sean $D1 = \{Juan, Jorge\}$ y $D2 = \{jamon, vino, queso\}$. La relación difusa *"gustar"* se define por:

$$f_{gustar} = \begin{bmatrix} 0{,}8 & 1 & 0{,}1 \\ 1 & 0{,}6 & 0{,}9 \end{bmatrix}$$

(f) Operaciones sobre Relaciones Difusas.

- **Unión, intersección, complemento:** como con conjuntos difusos
- **Composición de relaciones difusas:**
  - Dadas las relaciones difusas R en $D_1 \times D_2$ y S en $D_2 \times D_3$. Su composición $R \circ S$ es una relación en $D_1 \times D_3$ definida como:

    $$R \circ S = \{(x, z) | \exists y \in D_2 \text{ verificando } (x, y) \in R \text{ y } (y, z) \in S\}$$

    Calculandose su función de pertenencia de la forma:

    $$\boxed{f_{R \circ S}(x, z) = \ \mathbf{max}_{y \in D_2}\{min\{f_R(x, y), f_S(y, z)\}\}}$$

    con $x \in D_1,\ y \in D_2,\ z \in D_3$

  - Ejemplo :

    $$\begin{array}{ccccc} R_{XY} & & R_{YZ} & & R_{XZ} = R_{XY} \circ R_{YZ} \\ \begin{bmatrix} 0{,}3 & 0{,}5 \\ 0 & 0{,}7 \\ 0{,}2 & 0{,}4 \\ 0{,}6 & 0{,}3 \end{bmatrix} & \circ & \begin{bmatrix} 1 & 0{,}9 & 0{,}7 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}4 \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} 0{,}3 & 0{,}3 & 0{,}4 \\ 0 & 0{,}2 & 0{,}4 \\ 0{,}2 & 0{,}2 & 0{,}4 \\ 0{,}6 & 0{,}6 & 0{,}6 \end{bmatrix} \end{array}$$

- **Composición conjuntos y relaciones difusas:**
  - Siendo A conj. difuso en D_1 y R relación difusa en $D_1 \times D_2$. Su composición será un conjunto difuso B en D_2 definido como:

    $$B = A \circ R = \{y | \exists x \in D_1 \text{ verificando } x \in A \text{ y } (x, y) \in R\}$$

    Calculandose su función de pertenencia de la forma:

    $$\boxed{f_{A \circ R}(y) = \ \mathbf{max}_{x \in D_1}\{min\{f_A(x), f_R(x, y)\}\}}$$

    con $x \in D_1,\ y \in D_2$

8.3 Lógica Difusa

- Generalización de la lógica multivaluada.
  - Utiliza grados de verdad de las fórmulas lógicas en lugar de una verdad estricta de cierto/falso.
- Permite representar y utilizar conceptos "imprecisos" y realizar razonamientos "aproximados".
- Un **grado de verdad** puede ser:
  - Un valor numérico del intervalo [0,1]. (0.2, 0.5, 0.75, ...)
  - Una etiqueta lingüística. (más o menos verdad, bastante ...)
- Los grados de verdad estarán asociados a conjuntos difusos.
  - Homomorfismo entre conjuntos difusos y lógica difusa.
- **OBJETIVO:** Extender la inferencia lógica, aplicándola a los conjuntos difusos de los grados de verdad.
- Se encarga de :
  - representar el significado impreciso de los enunciados imprecisos del lenguaje natural
  - soportar la propagación de imprecisión de premisas a conclusiones al realizar inferencias
- Combina métodos simbólicos (cualitativos) y numéricos (cuantitativos)
- Elementos:
  - **Fórmulas atómicas**: proposiciones y/o predicados.
    - $A(x) \equiv$ "x es A" $\longrightarrow$ tomando A como conjunto difuso
    - Valor de verdad de la fórmula $=$ Grado de pertenencia del conjunto ($f_A(x)$)
  - **Conectivas lógicas:** AND, OR, NOT, IMPLICACION
    - Construyen las fórmulas bien definidas (f.b.d) como en lógica clásica.

(a) Conectivas Lógicas

- Se corresponderán con las operaciones sobre conjuntos difusos.
  - proposiciones/predicados $\approx$ conjuntos/relaciones difusas
  - grado de verdad $\approx$ grado de pertenencia
  - conectivas lógicas $\approx$ operaciones sobre conj. difusos
- **Conjunción (Y)**
  - Dados dos conjuntos difusos asociados a dos f.b.d., $P \subseteq D_1$ y $Q \subseteq D_2$, y un par $(x, y) \in D_1 \times D_2$, la **conjunción**, $P \wedge Q$, indica en qué medida x pertenece al conjunto difuso P e y pertenece al conjunto difuso Q.

$$\boxed{f_{P \wedge Q}(x, y) = min\{f_P(x), f_Q(y)\}}$$

  - Ejemplo: *"X es alto e Y es muy guapo"*

$$f_{\text{alto} \wedge \text{muy guapo}}(x, y) = min\{f_{\text{alto}}(x), f_{\text{muy guapo}}(y)\}$$

  - Cálculo del grado de verdad análogo a la intersección de conjuntos difusos
- **Diyunción (O)**
  - Dados dos conjuntos difusos asociados a dos f.b.d., $P \subseteq D_1$ y $Q \subseteq D_2$, y un par $(x, y) \in D_1 \times D_2$, la **disyunción**, $P \vee Q$, indica en qué medida x pertenece al conjunto difuso P o y pertenece al conjunto difuso Q.

$$\boxed{f_{P \vee Q}(x, y) = max\{f_P(x), f_Q(y)\}}$$

  - Ejemplo: *"La temperatura es alta o la humedad muy baja"*

$$f_{\text{temp alta} \vee \text{hum muy baja}} = max\{f_{\text{temp alta}}(x), f_{\text{hum muy baja}}(y)\}$$

  - Cálculo del grado de verdad análogo a la unión de conjuntos difusos.

- **Negación (NO)**
  - Dado un conjunto difuso asociado a una f.b.d., $P \subseteq D$, la negación se corresponde con el cálculo del complementario.

$$\boxed{f_{\neg P}(x) = 1 - f_P(x)}$$

- **Implicación (SI...ENTONCES)**
  - Multiples definiciones posibles (distintas fórmulas de combinación)
  - $f_{A \rightarrow B}(x, y)$ representa el grado de verdad de la implicación entre x e y.
  - Define una relación difusa entre los conjuntos P y Q.
  - Da soporte a las reglas difusas.
  - Ejemplo: "si la temperatura X es muy alta, entonces la humedad Y es baja"
  - Implicación de Kleene :

$$\boxed{f_{P \rightarrow Q}(x, y) = max\{1 - f_P(x), f_Q(y)\}}$$

    - Mantiene la equivalencia $P \rightarrow Q \equiv \neg P \vee Q$ de la logica clásica.
  - En la práctica interesa que sean fáciles de calcular, aunque no cumplan la relación.
  - Ejemplo: *"si la temp. (X) es alta, entonces subida normal (Y) de la calefacción"*

$$f_{\text{temp. alta} \rightarrow \text{sub. normal}}(x, y) = max\{1 - f_{\text{temp. alta}}(x), f_{\text{sub. normal}}(y)\}$$

(b) Variables Lingüísticas

- **Variable Lingüística:** variable cuyos valores son palabras o sentencias
  - Sus valores son **etiquetas lingüísticas**
  - Ejemplos:

Variable	Expresiones Ling.	Dominio
altura	"bajo", "muy alto", "aprox 1,80"	numérico (cm.)
belleza	"muy guapo", "feo", "un callo",...	personas (discreto)

  - Usadas (principalmente) en la definición de reglas difusas.
- Utilidad
  - Comprimir información: Una etiqueta incluye muchos valores
  - Caracterizar fenómenos mal definidos o complejos
  - Trasladar conceptos lingüísticas a descripciones numéricas
    $\longrightarrow$ traduce proceso simbólico a proceso numérico.
- **Etiqueta Lingüística:** Términos lingüísticos definidos como conjuntos difusos (sobre cierto dominio).
  - Terminos primarios: asociados a un conjunto difuso L sobre el dominio de la variable.
    Ejemplos: alto, bajo, normal, pequeño, ... (sobre variables: temperatura, estatura, etc...)
  - Terminos compuestos: su conj. difuso se define a partir del de los términos primarios usando modificadores lingüísticos y cuantificadores.
    Ejemplos: muy alto, moderadamente alto, poco bajo, extremadamente pequeño, ...

- **Modificador lingüístico:** operador que transforma el conjunto difuso asociado a un término primario L en otro conjunto difuso. Ejemplos:
  - Concentración: Elevar valores de L a p con $p > 1$.
    "Muy L" o "aproximadamente igual a L" $(p = 2)$
    "Más L" (p=1.5)
  - Dilatación: Raíz n-ésima o elevar a $p \in (0, 1)$.
    "Más o menos L" (p=0.5)
    "Menos L", "Poco L" (p=0.75)
  - Intensificación del contraste: disminuir valores menores que 0.5 y aumentar los otros.
    "Especialmente L", "Bastante cerca de L"...
  - Difuminación: efecto contrario.
    "Cerca de L", "Casi L"...
- **Cuantificadores Lingüísticos o Difusos:** cuantifican la cantidad de objetos que cumplen cierta condición.
  - En lógica clásica : $\forall$ (todo), $\exists$ (existe)
  - En Lógica difusa hay más:
    - Absolutos: se refieren a una única cantidad
      "muchos","pocos","muchísimos","aprox entre 6 y 9","aprox. más de 43"
    - Relativos: se refieren a una proporción de elementos respecto del total
      "la mayoría", "la minoría", "casi todos", "casi ninguno", "prox. la mitad"

(c) Razonamiento Difuso

- Łógica Difusa pretende formular reglas de razonamiento aproximado
  $\longrightarrow$ Lógica Clásica: inferencia sólo posible si datos coinciden exactamente con las premisas.
- **Inferencia difusa:** Proceso mediante el cual se obtiene como conclusión un conjunto difuso a partir de unas premisas también difusas
- Principal regla de inferencia: **Modus Ponens Difuso**
  $\longrightarrow$ Generalización Modus Ponens de logica clásica

MODUS PONENS CLASICO	MODUS PONENS DIFUSO
(1) $P \rightarrow Q$	(1) Si x es A, entonces y es B
(2) P	(2) x es $\mathfrak{A}$
(3) Q	(3) y es $\mathfrak{B}$

  - A y B son conjuntos difusos
  - "x es $\mathfrak{A}$" representa x es "algo parecido" a A (pertenencia no total)
  - "y es $\mathfrak{B}$" representa y es "algo parecido" a B (pertenencia no total)
- Se pretende soportar inferencias del tipo:

```
(1) Si la curva es muy cerrada, reducir la velocidad.
(2) La curva es ligeramente cerrada
-------------------------------------------------
(3) Reducir un poco la velocidad
```

- **Modus ponens difuso**, Definición clásica (Zadeh)
  - Basado en la composición de conjuntos y relaciones ($A \rightarrow B$).

$$\boxed{\mathfrak{B} = \mathfrak{A} \circ (A \rightarrow B)}$$

  - Función de pertenencia de $\mathfrak{B}$:

$$\boxed{f_{\mathfrak{B}}(y) = \textbf{max}_{x\in\mathfrak{A}}\{min\{f_{\mathfrak{A}}(x),\ f_{A\rightarrow B}(x,y)\}\}}$$

  - Usando la implicación clásica de Kleene:

$$\boxed{f_{\mathfrak{B}}(y) = \textbf{max}_{x\in\mathfrak{A}}\{min\{f_{\mathfrak{A}}(x),\ max\{1 - f_A(x), f_B(y)\}\}\}}$$

- Ejemplo: (Dominio discreto, nos. enteros)

Conjuntos:
B : *temp. baja* (Dom. discreto {0,1,...,10}) $f_B = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 0{,}6, 0{,}3, 0, 0, 0]$
S : *subida normal* (Dom. discreto {0,2,4,...,14}) $f_S = [0, 0, 0, 0, 0{,}5, 1, 0{,}5, 0]$
Regla: ***SI*** *temp. es baja (*B*)* ***ENTONCES*** *subida normal de calefacción (*S*)*

Cálculo relación $B \rightarrow S$: $\begin{cases} f_{\neg B} = 1 - f_B = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0{,}4, 0{,}7, 1, 1, 1] \\ f_{B\rightarrow S}(x,y) = max\{1 - f_B(x), f_S(y)\} \end{cases}$

$$f_{B\rightarrow S} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0 \\ 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}4 & 0{,}5 & 1 & 0{,}5 & 0{,}4 \\ 0{,}7 & 0{,}7 & 0{,}7 & 0{,}7 & 0{,}7 & 1 & 0{,}7 & 0{,}7 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dado el conj. $\mathfrak{B}$: *"temp. muy baja"*, con dominio $\{0, 1, 2, ..., 10\}$
y $f_{\mathfrak{B}} = [0{,}8, 0{,}4, 0{,}2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]$.
Calcular el conjunto difuso, $\mathfrak{S}$, resultante ($\mathfrak{S} = \mathfrak{B} \circ B \rightarrow S$).

$$¿f_{\mathfrak{S}}(y) = \textbf{max}_x\{min\{f_{\mathfrak{B}}(x), f_{B\rightarrow S}(x,y)\}\} = ?$$

Fuzzyficación y desfuzzyficación

- En aplicaciones prácticas (SS.EE. difusos + sistemas de control)
  - Valores de entrada y salida no son conjuntos difusos (valores numéricos concretos)
  - Necesidad procesos adicionales: *fuzzyficación/desfuzzyficación*.
- *FUZZIFICACIÓN* (borrosificación, difuminación)
  - Construir un conjunto difuso A, a partir de una entrada concreta (no difusa) x_i.
  - Uso de funciones de pertenencia *singleton*

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 \text{ si } x = X_i \\ 0 \text{ en otro caso} \end{cases}$$

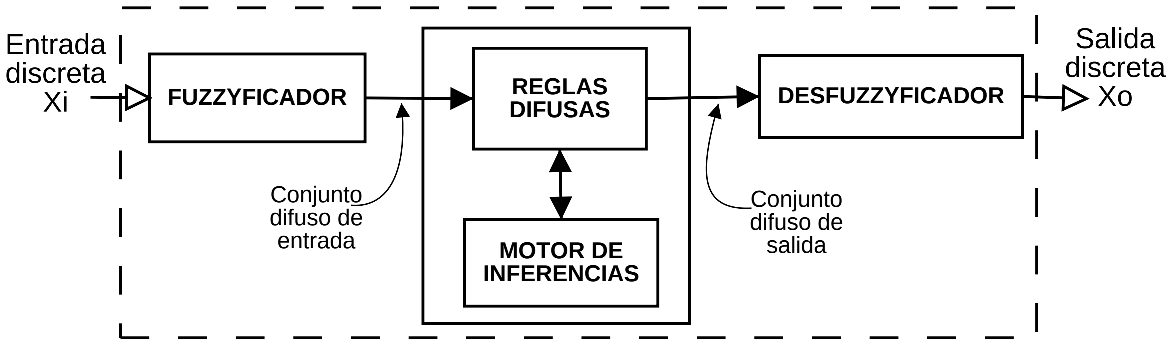
  - Simplifica los cálculos en reglas : $f_{\mathfrak{B}} = min\{1,\ f_{A \to B}(x, y)\}$
- *DESFUZZIFICACIÓN* (desborrosificación, desdifuminación)
  - Obtener un valor concreto x_oa partir la función de pertenencia de un conjunto difuso (resultado de la inferencia: $\mathfrak{B}$)
  - Tranformación de la función de pertenencia obtenida en un único valor numérico discreto.
  - Métodos
    - *Máxima pertenencia*: devolver elemento del dominio cuyo grado de pertenencia (valor $f_{\mathfrak{B}}$) sea mayor.
      $\longrightarrow$ si hay varios: calcular media
    - *Centro de gravedad (centroide)*: devolver el centro de gravedad de la función de pertenencia del conj. $\mathfrak{B}$

$$x_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_{\mathfrak{B}}(x_i) \times x_i}{\sum_{i=1}^{n} f_{\mathfrak{B}}(x_i)} \text{ (en dominios continuos} \longrightarrow \text{integrales)}$$

    - *Centro de área*: devolver el valor que hace que el área a su derecha y a su izquierda sea la misma.

(d) Aplicaciones

- Sistemas basados en lógica difusa
- Permiten relacionar entradas y salidas mediante funciones no lineales representadas por reglas difusas.
- Componentes:
  - reglas difusas: proporcionadas por expertos o “aprendidas”
  - motor de inferencias
  - “fuzzificador” + “desfuzzificador”



- Areas de aplicación:
  - Sistemas Expertos Difusos
  - Controladores de procesos difusos (comun en sistemas embebidos [electrodomesticos, cohes, etc,])
- **Ventajas**
  - Combina razonamiento simbólico y numerico
  - Analogía con forma de expresión humana
  - Simplicidad y eficiencia computacional
  - Caracteristicas adecudas para ciertas areas → “asegura” aplicaciones exitosas
- **Inconvenientes**
  - En ocasiones, difícil interpretación de los valores difusos (semántica poco clara).
  - Dificil justificación de los razonamientos efectuados
  - Múltiples definiciones de operadores y reglas de inferencia → dificil ajustar el sistema