Diseño de Sistemas Borrosos (Nebulosos)

Luis Alonso Romero
Catedrático de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Salamanca
lalonso@usal.es

Fundamentos de Lógica Borrosa

- Su fundamento es el lenguaje natural, donde los razonamientos aproximados con sentencias imprecisas son habituales:

  A1: Normalmente. los coches antiguos son difíciles de encontrar.

  A2 : Lo difícil de encontrar suele ser caro

  C1: Normalmente, los coches antiguos son caros

  El silogismo anterior emplea predicados borrosos (antiguo, difícil de encontrar, caro) y un cuantificador borroso (normalmente)

- La teoría de conjuntos borroso, base de esta Lógica, se debe a Zadeh (1965)

Conjuntos nítidos

- Un conjunto clásico, o nítido (crisp) tiene una frontera definida:

  Ejemplo A = {x : x > 3 } para x en el Universo de los número naturales.

  De forma que dado cualquier elemento del Universo del discurso U, pertenece o no pertenece al conjunto.

  Si definimos una *función característica* para cada elemento x de U:

  = 1 si $x \in A$

  = 0 si $x \notin A$

  Podemos definir A por el conjunto de pares ordenados

  (x,1) $\forall\ x \in A$

  (x,0) $\forall\ x \notin A$

  La función característica puede generalizarse a una *función de pertenencia* que nos da un número entre 0 y 1

Conjuntos Borrosos I

- Si a cada elemento del *Universo del Discurso* se le asigna un *grado de pertenencia a un conjunto,* $\mu_a(x)$, valor real entre 0 y 1, tendremos definido un conjunto borroso.
- El *grado de pertenencia* se asigna por una *función de pertenencia*.

  Sea x = { Números reales próximos a cero}

  La función de pertenencia podría ser:

$$m(x) = \frac{1}{1+10x^2}$$

- No confundir grado de pertenencia con probabilidad, ni con *medida borrosa.*

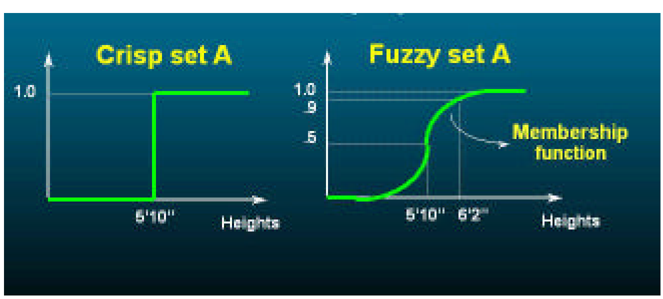
  La suma de los grados de pertenencia de los elementos de U no tiene por qué ser la unidad.

Conjuntos borrosos II

Sea el Universo de las edades U={5,10,20,30,40,50,60,70,80}

Elementos	Bebés	Jóvenes	Adultos	Viejos
5	0	1	0	0
10	0	1	0	0
20	0	0.8	0.8	0.1
30	0	0.5	1	0.2
40	0	0.2	1	0.4
50	0	0.1	1	0.6
60	0	0	1	0.8
70	0	0	1	1
80	0	0	1	1

- Sets with fuzzy boundaries



Conjuntos Borrosos III

- La notación matemática es:

  A = {x | μ_A(x) } si μ_A(x) es distinto de 0 (x se llama *singleton*)

  Ejemplo:

  bebés = {}

  jóvenes = {5 | 1, 10 | 1, 20 | 0.8, 30 | 0.5 , 40 | 0.2 , 50 | 0.1 }

  adultos = {20 | 0.8 , 30 | 1, 40 | 1, 50 | 1, 60 | 1, 70 | 1, 80 | 1}

  viejos = {20 | 0.1, 30 | 0.2, 40 | 0.4, 50 | 0.6, 60 | 0.8, 70 |1, 80 | 1 }
- El conjunto bebés es un *conjunto borroso vacío,* dentro del Universo de edades elegido.
- *Altura* de un conjunto borroso es el máximo valor de pertenencia.
- *Cardinal* de un conjunto borroso es la suma de los valores de pertenencia de todos sus elementos

  Cardinal (viejos) = 4.1   Cardinal(jóvenes) = 3.6

Universos del discurso

- Los universos del discurso pueden ser

  Discretos y no ordenados:

  U = {Salamanca, Zamora,Bragança,Metrópolis}

  A = “buena para vivir” = {Salamanca|0.8, Zamora|0.7, Bragança|07, Metrópolis|0.1}

  Discretos y ordenados:

  U = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,20}

  A = “número sensato de hijos” = {0|0.1, 1|0.3,2|0.8,3|1,...}

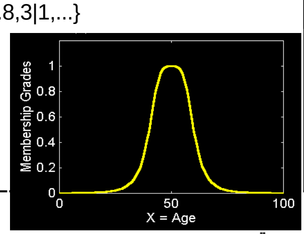
  Continuos:

  U = R^+ posibles edades de las personas

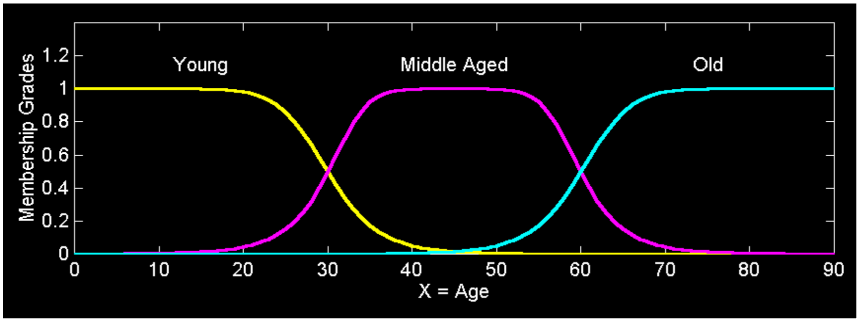
  A = “más o menos 50” = {x | μ_A(x)}

$$m_A(x) = \frac{1}{1+10(x-50)^2}$$

La especificación de las funciones de pertenencia es bastante subjetiva.



Ejemplo de conjuntos borrosos

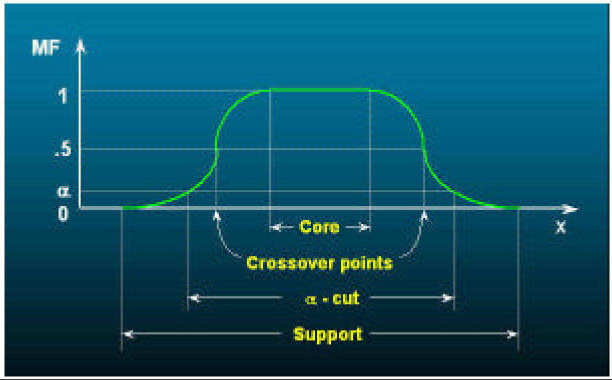


Definiciones básicas.

- Sea un conjunto borroso A definido sobre el universo X. Sobre A se establecen las siguientes definiciones:
- **Soporte** es el conjunto de los puntos $x \in X$ tales que $\mu_A(x)>0$
- **Núcleo** es el conjunto de los puntos $x \in X$ tales que $\mu_A(x)=1$.
- Un CB A es **normal** si su núcleo no es vacío.
- **Punto de cruce** es el punto x en el que $\mu_A(x)=0.5$.
- **"Singleton" borroso** si el soporte de A es un único punto x con $\mu_A(x)=1$.
- **Corte** a es el conjunto nítido $A_\alpha = \{x : \mu_A(x) \geq \alpha\}$
- **Corte** a **fuerte** es el conjunto nítido $A'_\alpha = \{x : \mu_A(x) > \alpha\}$

Definiciones en forma gráfica

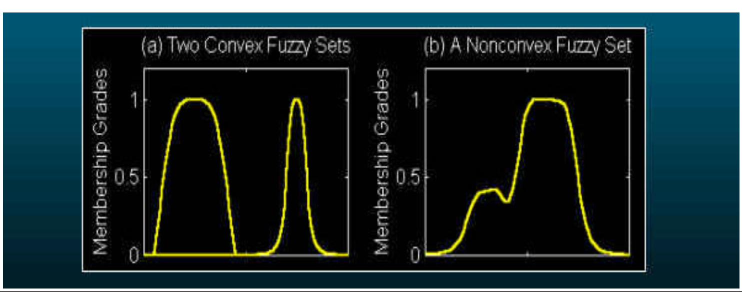
- Las definiciones anteriores en forma gráfica:



Más definiciones básicas

- Un conjunto borroso A es **convexo** si, y sólo si, $\forall x_1, x_2 \in U$ y $\lambda \in [0,1]$

$$m_A(lx_1 + (1-l)x_2) \geq \min\{m_A(x_1), m_A(x_2)\}$$



Y más ...

- Un **número borroso** A es un conjunto borroso sobre la recta real,R, que satisface las condiciones de normalidad y convexidad.

  La mayoría de los conjuntos borrosos que aparecen en la literatura, definidos sobre R, son números borrosos.

- En un CB normal y convexo, la **anchura** se define como la distancia entre los dos únicos puntos de cruce

  Anchura(A) = $|x_1 - x_2|$ donde $\mu_A(x_1) = \mu_A(x_2) = 0.5$

- Un CB es simétrico si su función de pertenencia es simétrica con relación a un cierto punto x=c.
- Un CB es abierto a la izquierda (idem a la derecha) si :

$$\lim_{x\to-\infty} m_A(x) = 1$$

$$\lim_{x\to+\infty} m_A(x) = 0$$

Operaciones básicas I

- Un conjunto borroso (CB) A es un **subconjunto** de otro Conjunto Borroso B si el grado de pertenencia de cada elemento del Universo al conjunto A es menor o igual que el del conjunto B

$$A \subset B \Rightarrow m_A(x) \leq m_B(x) \forall x \in U$$

- Dos CB son **iguales** si todos los elementos del Universo tienen el mismo grado de pertenencia en ambos CB. Son **distintos** en caso contrario

  {viejos} es subconjunto de {adultos}

- Por simplicidad de notación, a veces de emplea:

$$A = \left\{ \sum_{x\in X} m_A(x) | x \right\} \Rightarrow \text{Universos discretos}$$

$$A = \int_X m_A(x) | x \Rightarrow \text{Universos continuos}$$

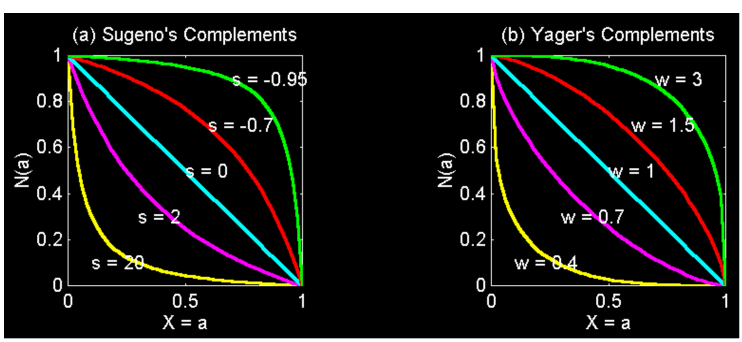
Operaciones Básicas II

- **Complemento** de un CB, A, con respecto al Universo del discurso, es el CB obtenido al asignar a a cada elemento del Universo el complementario a 1 de su grado de pertenencia en A.
  {Complemento de viejos} = {no viejos} = {5|1, 10|1,20|0.9,...60|0.2}
- **Unión** de dos CB," A o B", es el CB obtenido asignando a cada elemento del Universo el máximo valor de su grado de pertenencia a cualquiera de los dos conjuntos.
- **Intersección** de dos CB, "A y B",es el CB obtenido asignando a cada elemento del Universo el mínimo valor de su grado de pertenencia a cualquiera de los dos conjuntos.
  {jóvenes o viejos} = { 5|1, 10|1,.....80|1}
  {jóvenes y viejos} = {20|0.1, 30|0.2,...50| 0.1}
- Es fácil comprobar que las operaciones anteriores incluyen, como casos particulares, a las convencionales.

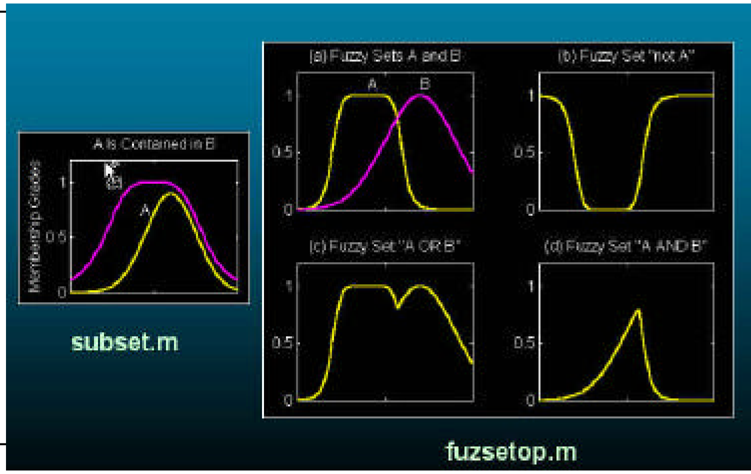
Otras definiciones del complemento borroso

Sugeno : $$N_s(a) = \frac{1-a}{1+sa}$$

Yager : $$N_w(a) = (1-a^w)^{1/w}$$



Ejemplos de operaciones básicas



Normas triangulares (T-norm)

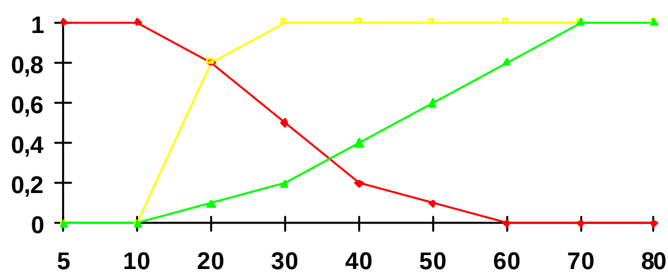
- La intersección de dos CB, A y B, puede definirse de un modo más general mediante la norma triangular $T(\mu_A, \mu_B)$:
- Requisitos básicos de una T-norma:
  - Frontera: $T(0, 0) = 0$, $T(a, 1) = T(1, a) = a$
  - Monotonicidad: $T(a, b) < T(c, d)$ si $a < c$ y $b < d$
  - Conmutatividad: $T(a, b) = T(b, a)$
  - Asociatividad: $T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$
- Ejemplos de T-normas :
  - Minimo: $T(\mu_A, \mu_B) = \min(\mu_A, \mu_B)$ Es el empleado habitualmente
  - Producto: $T_a(\mu_A, \mu_B) = \mu_A \, \mu_B$
  - Producto acotado: $T_b(\mu_A, \mu_B) = \max(0, (\mu_A + \mu_B - 1))$
  - ……

Co-normas triangulares (S-normas)

- La unión de dos CB, A y B, puede definirse de un modo más general mediante la co-norma triangular $S(\mu_A, \mu_B)$:
- Requisitos básicos de $S(\mu_A, \mu_B)$:
  - Frontera: S(1, 1) = 1, S(a, 0) = S(0, a) = a
  - Monotonicidad: S(a, b) < S(c, d) si a < c y b < d
  - Conmutatividad: S(a, b) = S(b, a)
  - Asociatividad: S(a, S(b, c)) = S(S(a, b), c)
- Ejemplos de S-normas:
  - Maximo: $S(\mu_A, \mu_B) = \max(\mu_A, \mu_B)$ Es el empleado habitualmente
  - Suma: $S_a(\mu_A, \mu_B) = \mu_A + \mu_B$
  - Suma acotada: $S_b(\mu_A, \mu_B) = \min(1, (\mu_A+\mu_B))$
  - Drastic sum: $S_d(a, b)$

Operaciones Básicas III

- Son posibles definiciones más generales, con grados de pertenencia no restringidos al intervalo [0,1].
- Una forma alternativa es representar los grados de pertenencia:



Operaciones Básicas IV

- **Producto Cartesiano** de dos CB, AxB, definidos sobre Universos distintos:

$$AxB = \{(x,y) \mid m_{AxB}(x,y) = \min(m_A(x), m_B(y)), \forall x \in U, \forall y \in V\}$$

- **Co-Producto Cartesiano** de dos CB, AxB, definidos sobre Universos distintos:

$$A+B = \{(x,y) \mid m_{A+B}(x,y) = \max(m_A(x), m_B(y)), \forall x \in U, \forall y \in V\}$$

Ejemplo: Sobre V={Estaturas de personas} definimos el conjunto
{medios} = { 160|0.5, 170 |1, 180 |0.5}. El producto cartesiano
{jovenes x medios} = { (5,160)|0.5, (5,170)|1,....(50,180)|0.1}
{jovenes + medios} = { (5,160)|1, (5,170)|1,....(50,180)|0.5}

Variables lingüisticas

- En la práctica, cuando el universo del discurso X es continuo, se suele partir en varios conjuntos borrosos que “recubren” X de una forma más o menos continua.
- Estos conjuntos borrosos suelen llevar adjetivos que aparecen en el lenguaje natural.

  Ej : Si T = {temperaturas}, podemos tener conjunto borrosos de temperaturas *bajas, medias y altas*.
- Estos adjetivos se llaman “valores linguisticos” o “etiquetas linguisticas”. Y al universo del discurso se le llama “**variable lingüística**”

Tipos de funciones de pertenencia

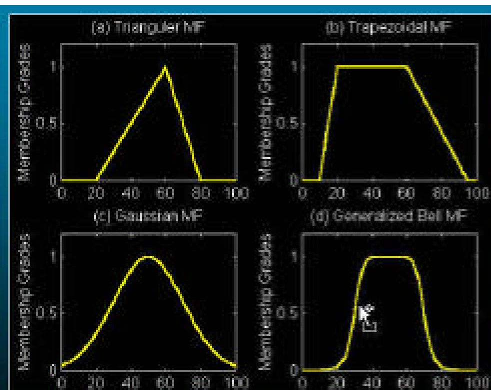
Triangular MF: $trimf(x;a,b,c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right)$

Trapezoidal MF: $trapmf(x;a,b,c,d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right)$

Gaussian MF: $gaussmf(x;a,b,c) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2}$

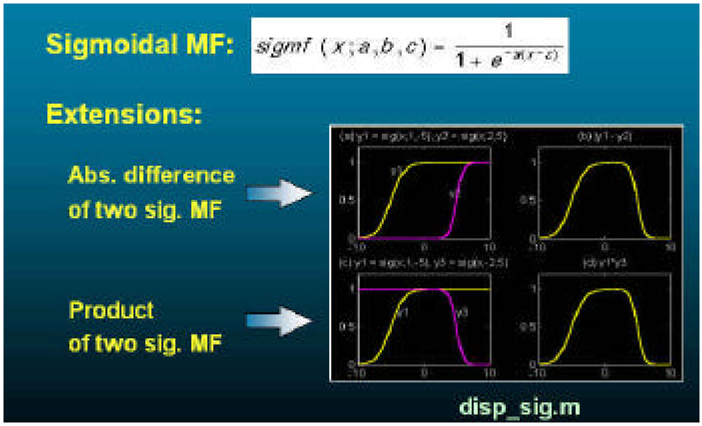
Generalized bell MF: $gbellmf(x;a,b,c) = \frac{1}{1+\left|\frac{x-c}{b}\right|^{2b}}$

Funciones de pertenencia gráficas

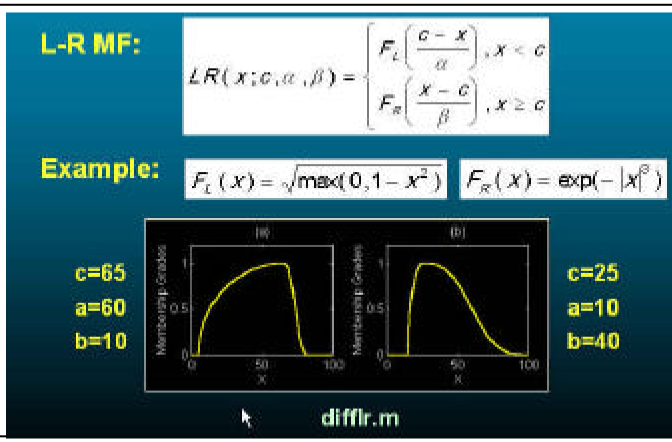


disp_mf.m

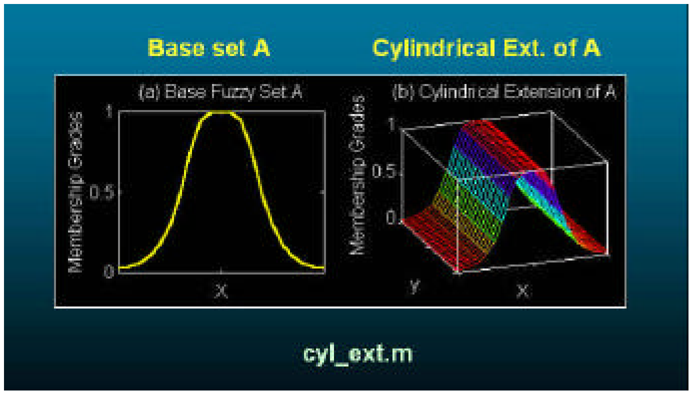
Funciones de pertenencia sigmoideas



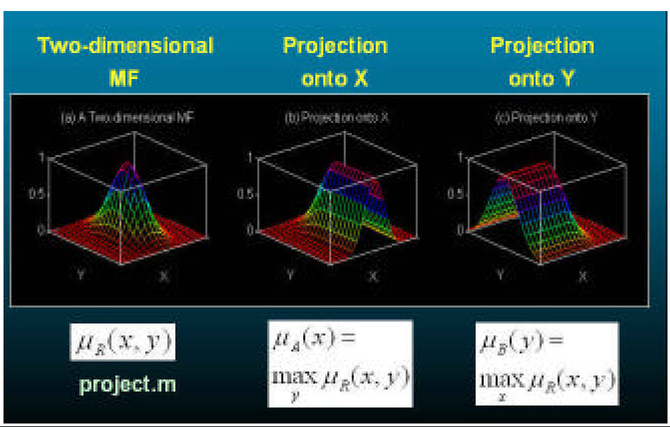
Funciones de pertenencia L-R



Funciones de pertenencia 2D: extensión cilíndrica



Funciones de pertenencia 2D: proyecciones



Principio de extensión

- Sea f una función de U a V y A un CB sobre U:

$$A = \{x_1 \mid m_A(x_1), x_2 \mid m_A(x_2), \ldots x_n \mid m_A(x_n)\}$$

- El **principio de extensión** establece que la imagen del conjunto borroso A por la correspondencia f() es el conjunto borroso B

$$B = f(A) = \{y_1 \mid m_A(x_1), y_2 \mid m_A(x_2), \ldots y_n \mid m_A(x_n)\}$$

- Donde $y_i = f(x_i)$, i=1,2,...n . En caso de que f() sea una correspondencia muchos a uno (puede haber más de una x con la misma imagen y) entonces

$$m_B(y) = \max_{x = f^{-1}(y)}(m_A(x))$$

Ejemplo del principio de extensión

- Sea A={-2|0.1, -1|0.4, 0|0.8, 1|0.9, 2|0.3)
- Y f(x) = x^2 – 3
- Aplicando el principio de extensión tendremos :

  B = { 1|0.1, -2|0.4, -3|0.8, -2|0.9, 1|0.3 }
  Que al aplicar la ley del máximo queda

  B = {-3|0.8, -2|0.9, 1|0.3 }
- Si el CB A estuviese definido sobre un universo del discurso continuo, se aplicaría un procedimiento similar.

Relaciones Borrosas I

- Dados n Universos, continuos o discretos, $U_1,\ldots U_n$, una **relación borrosa** R viene definida por un grado de pertenencia asignado a cada elemento del producto cartesiano de los Universos.

  Ejemplo: $U_1 = U_2$ = {números reales}, podemos definir la relación borrosa "próximo" por

  $\mu_R(x,y) = 1/(1 + 10(x-y)^2)$

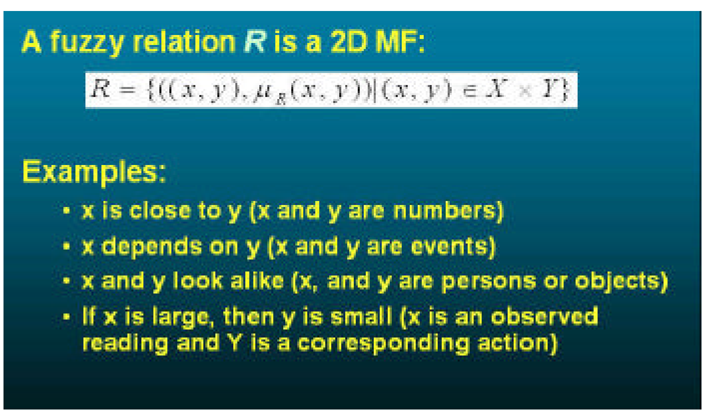
- Si n=2, tenemos una **relación borrosa binaria**, $R(U_1,U_2)$

  Ejemplo: Sea U_1= { Valladolid, La Coruña, Palencia}

  U_2 = { Salamanca, Burgos } y R = "lejanas"

  La "matriz borrosa" , R() es

$$\begin{matrix} 0.2 & 0.3 \\ 0.8 & 1 \\ 0.4 & 0.1 \end{matrix}$$



Relaciones Borrosas II

- **Dominio** de una relación borrosa binaria R(U,V) es el conjunto borroso domR(U,V) que asigna a cada elemento del conjunto origen U el máximo grado de relación con cualquiera de los elementos de V.

  Ej: domR(U,V)= {Valladolid|0.3, La Coruña|1, Palencia|0.4}
- **Rango** tiene una definición análoga a la de dominio , pero intercambiando U y V

  Ej : ranR(U,V) = {Salamanca|0.8, Burgos|1}
- Todas las operaciones sobre conjuntos borrosos pueden aplicarse sobre relaciones borrosas: unión, intersección etc.

Relaciones Borrosas III

- **Composición de relaciones**: Dados U,V y W, y dos relaciones borrosas P(U,V) y Q(V,W), se define la relación compuesta PoQ :

  R(U,W) = P(U,V)oQ(V,W) =

  $[(x,z) \mid \mu_{PoQ}(x,z) = \max_V[\min(\mu_P(x,y), \mu_Q(y,z))]$

  También llamado **composición max-min**.

  Ej : U=(primavera, verano, otoño, invierno}

  V={calor, frío} W={camisa, jersey, abrigo}

  P(U,V) = {en la estación U se siente V}

  Q(V,W) = { si se siente V se usa W}

  Y las matrices P, Q y PoQ son:

$$P = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 \\ 1 & 0 \\ 0.2 & 0.8 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad Q = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \end{pmatrix} \quad PoQ = \begin{pmatrix} 0.8 & 0.2 & 0.2 \\ 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.8 \\ 0 & 0.2 & 0.8 \end{pmatrix}$$

Relaciones borrosas IV

- A veces se define la composición max-producto como
  $[(x,z) \mid \mu_{PoQ}(x,z) = \max_V[(\mu_P (x,y)\ \mu_Q (y,z))]$

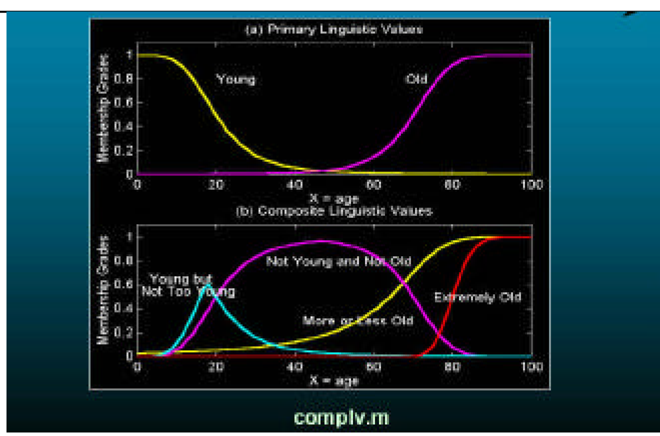
Principio de incompatibilidad

- Formulado por Zadeh(1975) :
  " A medida que aumenta la complejidad de un sistema, nuestra capacidad de establecer sentencias precisas y significativas va disminuyendo hasta que se alcanza un umbral a partir del cual la precisión y el significado se convierten en características mutuamente exclusivas".
- Este principio dio lugar al concepto de variable lingüística, como alternativa al modelado del razonamiento humano:
- Una variable lingüística es la quíntupla (x,T(x),U,G,M) donde
  - x es el nombre de la variable.
  - T(x) es el conjunto de términos o valores linguísticos.
  - U es el universo del discurso.
  - G es una regla sintáctica que genera los términos en T(x)
  - M es una regla semántica que asocia cada valor lingüístico A con su significado M(A) , donde M(A) es un conjunto borroso en U.

Ejemplo de variable linguística

- Sea x = edad de las personas.
- U = [0,120]
- T(x) = {bebé, niño, joven, adulto, de media edad, anciano,...}
- G especifica la forma en que se generan los valores en T(x)
- M representa la forma de cada uno de los conjuntos borrosos asociados a los valores bebé, niño, etc.

Valores linguisticos



Lógica Borrosa vs. tradicional

- En la lógica clásica, una proposición puede tomar los valores 0 o 1. En la lógica borrosa, los valores semánticos son conjuntos borrosos dentro del intervalo [0,1], con lo cual cada proposición tiene grados de pertenencia a los llamados *"valores de verdad linguisticos".* Ejemplo: muy cierto, cierto, falso, muy falso, etc.
- En Lógica Borrosa, los predicados pueden ser concretos, como en la convencional, o *borrosos* (Ejemplo: barato, joven, alto, ...).
- La lógica clásica solamente admite dos cuantificadores : el *Universal* (para todo) y el *existencial* (existe al menos). En Lógica Borrosa se admiten, además, cuantificadores *borrosos* como "muchos", "pocos", que pueden considerarse como números borrosos o predicados de segundo orden.

Lógica Borrosa vs. Tradicional II

- En Lógica Borrosa se admiten modificadores de predicados, como "muy", "casi", etc. Si a cada modificador se le asigna un operador, se pueden realizar cálculos con *variables linguisticas*, cuyos valores son palabras o sentencias en lenguaje natural. Este es un concepto clave en las aplicaciones a determinados campos, como el Control.

  Ejemplo: temperatura : "muy baja", "baja", "normal", "alta", "muy alta"

  presión, edad, estatura, tamaño, etc
- La Lógica Borrosa parece adecuada para la representación del conocimiento, al menos parcialmente (Lenguaje Natural).
- Problema abierto: la aproximación linguistica, es decir, la traducción a una expresión linguistica de un conjunto borroso obtenido como resultado de una inferencia.

Lógica Borrosa vs. Tradicional III

- La Lógica Borrosa proporciona un mecanismo apropiado de inferencia, basado en expresar las premisas y conclusiones en forma canónica.
  - Premisa = restricción sobre una variable
  - Conclusión = restricción calculada como propagación de restricciones.
- Dado que en Lógica Borrosa con existe el concepto de "sentencia válida", no puede establecerse un sistema axiomático y, por tanto, tampoco tiene sentido hablar de "completitud" ni de "consistencia". Por ello, algunos autores niegan que la Lógica Borrosa sea, ni siquiera una Lógica.
- Por ahora, la única defensa es el pragmatismo: es un formalismo que permite modelar situaciones y construir sistemas de inferencia que son imposibles con otras Lógicas.

Sentencias Borrosas

- En Lógica Borrosa se trabaja con sentencias obtenidas enlazando predicados, con las mismas reglas de formación que en la lógica de predicados:
  - Conectivas básicas : disyunción, conjunción y condicional
  - Modificadores: además de la negación, existen una serie de modificadores liguisticos, cuya semántica se puede formalizar: "muy","en torno a",..
  - En la lógica clásica, la interpretación de una sentencia tiene como resultado un valor de verdad, V o F. En lógica borrosa este resultado es un valor de verdad, entre 0 y 1, pero que puede estar referido a una interpretación de verdad, o falsedad, o media verdad, etc. Por simplicidad, nos referiremos con α al grado de verdad de una sentencia.
- Seguiremos el modelo de semántica de lenguaje natural propuesto por Zadeh.

Interpretación de sentencias simples I

- En este modelo, el significado de una palabra se considera igual a un conjunto formado por elementos de un universo U, que normalmente se restringe a un contexto. Por ejemplo, conjunto de olores, plantas,…
- Todo predicado monádico representa una propiedad. (temperatura alta). Si consideramos el conjunto de predicados monádicos de un lenguaje natural, podemos considerar que existe una medida para cada elemento del universo y predicado que expresa el grado de correspondencia entre ellos, es decir, su relación semántica.
- *Significado de un predicado monádico* es el conjunto borroso formado por todas las relaciones semánticas del predicado con los elementos del universo.

  Ejemplo: Sea U = {Universo de los números naturales}

  predicado 1 : "números pequeños"

  predicado 2 : "números grandes"

Interpretación de sentencias simples II

$$m_p(x) = \frac{1}{1+0.1x}$$

$$m_g(x) = \begin{Bmatrix} 0 & x \le 1000 \\ \dfrac{x-1000}{x-999} & x \ge 1000 \end{Bmatrix}$$

Los conjuntos borrosos asociados a esta interpretacion son :

P = {numeros naturales pequeños} G = {numeros naturales grandes}

Por ejemplo:

la sentencia "5 es un numero natural pequeño" tiene una grado de verdad de 2/3.

la sentencia "1005 es un numero natural grande" tiene un grado de verdad de 5/6

Interpretación de sentencias simples III

- Dado un predicado monádico al que se ha asociado un conjunto borroso A, que representa su significado, a la interpretación verdadera de una sentencia simple se le asocia el valor de verdad $\mu_A(x)$, grado de pertenencia del elemento x al conjunto A:

  $I(A(x)) = \mu_A(x) = \alpha$
- Cuando el sujeto x no pertenece al universo U sobre el que se ha definido el predicado, es preciso hacer una correspondencia entre x y algún elemento de U, llamada *paso a forma canónica.*

  Ejemplo: “Juan es joven” : para interpretar esta sentencia, con el conjunto borroso “joven” dado antes, es preciso conocer la edad de Juan. La sentencia, en forma canónica, sería : “La edad de Juan es la de una persona joven”. Si Juan tiene 30 años, la interpretación de la s entencia es 0.5.

Interpretación de sentencias simples IV

- En el caso de Universos discretos, es posible que al pasar a la forma canónica no exista ningún elemento de U asociado a x. En este caso, la solución es, más o menos, arbitraria.

  Ejemplo: Si la edad de Juan fuese de 25 años. Se puede considerar que es análoga a 20, o 30, o bien, interpolar los valores de verdad.
- *Significado de un predicado n-ario* es la relación borrosa formada por todas la relaciones semánticas del predicado correspondiente con las tuplas formadas por los elementos de los universos. Así, si n=2:

  $I(R(x,y)) = \mu_R(x,y) = \alpha$

  Ejemplo: E={primavera, verano, otoño, invierno} S={calor,frío}

  Con la relación borrosa definida por la matriz:

$$\begin{matrix} 0.7 & 0.4 \\ 1 & 0 \\ 0.6 & 0.5 \\ 0.1 & 1 \end{matrix}$$

I(“en otoño se siente calor”) = 0.6

Interpretación de sentencias compuestas I

- Como a cada predicado se ha asociado un conjunto, o relación, borroso a la conjunción y disyunción de predicados se les puede asociar también un conjunto, o relación, borrosos obtenidos por la misma operación.
- *Regla de disyunción:*

$$I(A(x)\vee B(y)) = \max(m_A(x), m_B(y)); \forall x \in U, \forall y \in V$$

- *Regla de conjunción:*

$$I(A(x)\wedge B(y)) = \min(m_A(x), m_B(y)); \forall x \in U, \forall y \in V \quad \text{si los predicados son independientes}$$
$$= \min \quad \text{en caso contrario}$$

Interpretación de sentencias compuestas II

- Es obvio que si los dos predicados están definidos sobre un mismo universo, la regla de disyunción conduce a la operación de Unión de Conjuntos (S-norma), y la de conjunción a la de intersección (T-norma).
  - Ej. Sobre el Universo de estaturas definamos el conjunto borroso:
  - {estatura media}={160|0.5, 170|1,180|0.5}
  - La sentencia “Juan es joven o de estatura media”, si la edad de Juan es 20 y la altura es 180, tiene un interpretación = max(0.8,0.5) = 0.8
  - I(“Juan es joven y de estatura media”) = min(0.8,0.5) = 0.5
- Para interpretar la sentencia condicional hay varias alternativas

$$I(A(x)\to B(y)) = \max(\min(m_A(x), m_B(y)), 1 - m_A(x)); \forall x \in U, \forall y \in V \qquad \text{(Zadeh)}$$
$$I(A(x)\to B(y)) = \min(m_A(x), m_B(y)); \forall x \in U, \forall y \in V \qquad \text{(Mandani)}$$
$$I(A(x)\to B(y)) = m_A(x) m_B(y); \forall x \in U, \forall y \in V \qquad \text{(Larsen)}$$

Interpretación de sentencias compuestas III

- La sentencia condicional ampliada “Si ... entonces ..., si no ...” puede intepretarse como:

$$I((A(x)\rightarrow B(y))\wedge(\neg A(x)\rightarrow C(z))=\max(I(A\rightarrow B),I(\neg A\rightarrow C))=$$
$$=\max(\min(m_A(x),m_B(y)),\min(1-m_A(x),m_C(z))$$

  Ej: “Si Juan es de estatura media entonces es joven, si no es viejo”=
  max(min(0.5,0.8),min(1-0.5,0.1))= 0.5

- Las reglas anteriores son extensibles a predicados diádicos y combinaciones monádicos-diádicos:

  $I(A(x) \dashrightarrow R(y,z)) = \min(\mu_A(x), \mu_R(y,z)$

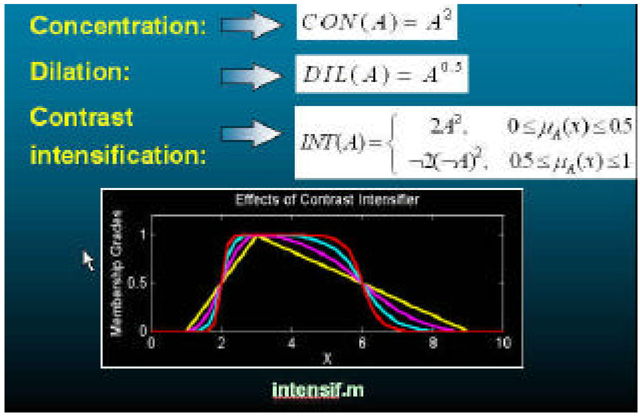
Modificadores Lingüisticos

- Los modificadores como “muy”, “casi”, “más o menos”, pueden modelarse como operaciones sobre la función de pertenencia. Los siguientes modelos se deben a V.Novak:

  Negación: $NEG(\mu(x)) = 1 - \mu(x)$
  Concentración: $CON(\mu(x)) = \mu(x)\ \mu(x)$ “muy”
  Dilatación: $DIL(\mu(x)) = 2\,\mu(x) - \mu(x)\ \mu(x)$ “más o menos”
  Intensificación: $INT(\mu(x)) = 2\,\mu(x)\ \mu(x)$ si $\mu(x)<0.5$
  $1 - 2(1-\mu(x))^2$ si $\mu(x) > 0.5$ “bastante”
  Ej: I(“Juan es muy joven”) = 0.8*0.8 = 0.64
  I(“Juan es bastante joven”) = 1 -2(0.2)(0.2) = 0.92
  I(“Juan no es joven”) = 1 - 0.8 = 0.2

- Análogamente se pueden modelar modificadores como “hiper”, “normalmente”,”casi”, etc

Ejemplo de modificadores



Reglas Básicas de Inferencia I

- Posibles clasificaciones del razonamiento:

  Categórico: las premisas no contienen cuantificadores borrosos.

  Disposicional: una, o más, premisas pueden contener el cuantificador borroso “normalmente”:

  Normalmente, los mamíferos tienen pelo

  Los mamíferos maman de pequeños

  -----> Normalmente, los mamíferos tienen pelo y maman ....

  Silogístico : las premisas contienen cualquier cuantificador borroso.

  La mayoría de los estudiantes son solteros.

  Algo más de la mitad de los estudiantes solteros fuman....

  Cualitativo: el problema se modela mediante un conjunto de relaciones borrosas del tipo “si ...entonces...”

  Si la temperatura es alta y la presión es muy baja, entonces abrir un poco la válvula.

Reglas Básicas de Inferencia II

- Las reglas de inferencia en Lógica Borrosa constituyen la base del llamado *Razonamiento Aproximado*.
- *Regla de la Herencia.(Entailment)*- Si el CB A, asociado a un predicado, es un subconjunto del CB B, cualquier elemento del universo que tenga la propiedad representada por el conjunto A, también hereda la propiedad representada por B.
  - Ej : Dado que {viejo} es un subconjunto de {adulto} , la sentencia "Jose es viejo" también lleva a "Jose es adulto"
- *Regla de la Intersección* : Si un elemento de U tiene las propiedades representadas pos los CB A y B, también tiene las representadas por la intersección de A y B.
  - "Juan es joven" y "Juan es adulto" ---> "Juan es joven y adulto", con grado de verdad definido por la regla de la conjunción.

Reglas Básicas de Inferencia III

- *Regla del Producto Cartesiano o de la Conjunción*: Si dos elementos de distintos universos tienen las propiedades representadas por los CB A y B, la pareja formada por ellos tiene el grado de relación que le corresponde en el producto cartesiano AxB.
  - "Juan es joven" y "Juan es de estatura media" ---> "Juan es joven y de estatura media", con grado de verdad dado por la regla de conjunción.
- *Regla de la Proyección*: de una pareja de elementos que cumpla una relación borrosa, se puede concluir que el primer elemento tiene la propiedad representada por el dominio de la relación.
  - Ej :Sea (Peso, Altura) dos variables borrosas y la relación ("Silueta"). Si la silueta es "Oronda" se puede deducir que Peso es Excesivo.

Reglas Básicas de Inferencia IV

- *Modus Ponens Generalizado*:

  A(x) -->B(z)

  A(x)

  B(z)

  Si la temperatura es baja sube la calefacción

  La temperatura es baja

  ---------- Sube la calefacción

- Modus Tollens Generalizado:

  A(x) --> B(z)

  ¬B(z)

  ¬A(x)

  Si la temperatura es baja sube la calefacción

  No sube la calefacción

  La temperatura no es baja

Reglas Básicas de Inferencia V

- *Regla de la Composición*: de un elemento que cumpla una propiedad representada por un CB A, y que esté relacionado con otro elemento de un universo diferente, se puede concluir que el segundo elemento tiene la propiedad representada por la composición de A con la relación R.

  Ej: Zamora es una ciudad pequeña A={ciudades pequeñas}

  Valladolid es mayor que Zamora R =“mayor que”

  ----> Valladolid es mayor que una ciudad pequeña

- *Modus Ponendo Ponens Generalizado*:

  A(x)

  B(x) --> C(z)

  (Ao(BxC))(y)

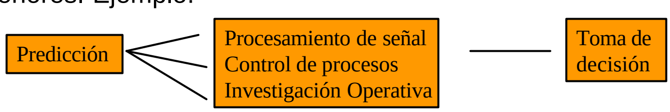
  Recordemos que en CB la negación (¬) viene expresada por el complemento.

Sistemas Borrosos. Definiciones I

- Un sistema (de control, de información, etc) es *borroso* cuando su funcionamiento se basa, al menos parcialmente en la lógica borrosa o en los conjuntos borrosos.
- Los problemas de análisis de sistemas (o toma de decisiones) más importantes son:
  - Control de procesos.
  - Procesamiento de señal.
  - Diagnóstico.
  - Procesamiento de imagen.
  - Procesamiento de lenguaje natural.
  - Investigación Operativa.

Sistemas Borrosos. Definiciones II

- Un problema básico de toma de decisiones (control, reconocimiento de patrones, predicción, modelado, etc) normalmente incluye alguno de los problemas de análisis anteriores. Ejemplo:



- La mayoría de los sistemas borrosos hasta la fecha están en los campos de control de procesos, procesamiento de señal o de imágenes, diagnóstico e investigación operativa. Empiezan a aparecer aplicaciones en los campos de medicina, economía y ciencias sociales.

Algunos ejemplos de sistemas borrosos

- Industriales:
  - Control de horno de cemento (Dinamarca)
  - Control de horno de fundición (NKK Fukoyama)
  - Operación automática del metro (Sundai, Japón)
  - Acondicionador de aire doméstico (Mitsubishi)
  - Lavadora (Viessmann, Fagor)
  - Cámara autofoco (Sanyo)
  - Fotocopiadora (Sanyo)
- De laboratorio:
  - Reconocedor de habla (NTT, Japón)
  - Sistema experto en medicina (Univ. California)
  - Control de robot autónomo (SRF, USA)

Sistemas borrosos reales

- La mayoría de los sistemas borrosos reales:
  - Son muy simples en estructura y objetivos.
  - Emplean estrategias de solución basadas en reglas borrosas del tipo
  - SI... ENTONCES.....
  - Se aplican en una gran variedad de campos, cumpliendo los requisitos de diseño razonablemente bien, y con ventajas sobre la solución convencional.
- Estas tres características constituyen un punto de referencia en el diseño de este tipo de sistemas.

Futuro de los sistemas borrosos

- La evolución futura de los sistemas borrosos va por dos caminos:
  - a.- Aplicación de la teoría de conjuntos borrosos a disciplinas basadas en las matemáticas: Geofísica, Contabilidad, Finanzas, Navegación, etc
  - b.- Aplicación de la inferencia borrosa a disciplinas que usan lenguaje natural como forma de expresión: Derecho, Ciencias Políticas, Historia, Sicología, Criminología, Medicina, Biología, etc
- En algunos casos, la opción b constituye la única alternativa para un tratamiento informático.
- Un tercera línea de desarrollo la constituyen los Computadores Borrosos (Proyecto ORBE y siguientes).

¿Qué es el diseño de un sistema borroso?

- Es la aplicación de conjuntos borrosos y/o lógica borrosa a una **solución** planteada en términos no borrosos (nítidos).
- Hay tres formas de obtener una solución a un problema:
  - 1.- Aplicando la experiencia práctica (*expertize*) Por ejemplo, explicar cómo se anda en bicicleta, en lenguaje natural.
  - 2.- Examinando conjuntos de datos y extrayendo consecuencias de ellos.
  - 3.- Por formulación matemática cerrada.
- El objetivo del diseño es transformar el conocimiento dado en una de estas tres formas en reglas borrosas del tipo:

  SI .... ENTONCES ....

¿Qué es el diseño?

- La traducción de la experiencia en lenguaje natural a reglas borrosas es relativamente directo.
- La extracción de reglas borrosas partiendo de datos numéricos es el caso más complicado.
- La traducción de una expresión matemática a reglas borrosas tampoco es trivial. Normalmente se llega a expresiones en aritmética borrosa o a teoría de grafos borrosos (ejemplo: c-means, agrupamiento borroso, etc).

Etapas de diseño

- Obtención de la solución por el método convencional: adquisición del conocimiento.
- Traducción al lenguaje de inferencia borrosa, composición de reglas y diseño de variables borrosas.
- Desarrollo del **algoritmo básico de inferencia borrosa**: diseño de elementos heurísticos.
- Simulación y prueba.
- Implementación.

Implementación.

- Una vez que el algoritmo borroso está desarrollado, se codifica en algún lenguaje: C, Fortran, etc
- El resultado se puede ejecutar en un computador de propósito general o en un hardware específico, digital o analógico.
- En definitiva, todo el proceso de diseño envuelve tres funciones (o personas):
  - Experto que conoce la solución convencional.
  - Especialista en lógica borrosa que lleva a acabo las etapas de diseño.
  - Informático/electrónico para implementarlo.

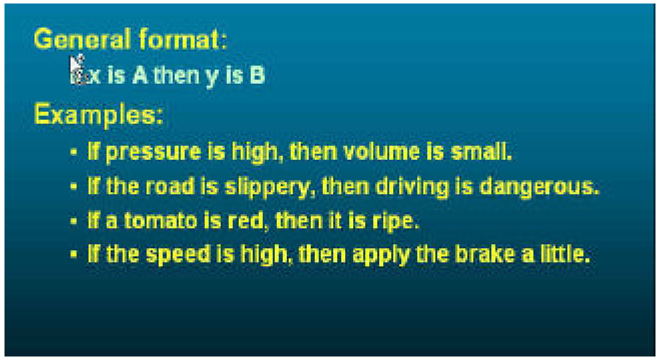
Algoritmos Borrosos

- El diseño de un sistema borroso implica el desarrollo de mecanismos “borrosos” de proceso de información y toma de decisiones sobre una plataforma digital.
- Un *algoritmo borroso* es un conjunto organizado de los elementos teóricos introducidos hasta ahora, implantados en un ordenador.
- Un algoritmo borroso puede emplear métodos de inferencia relacionales, composicionales o de implicación.
- No obstante, la forma más general del algoritmo borroso es a base de reglas del tipo

  SI…….. ENTONCES ……..

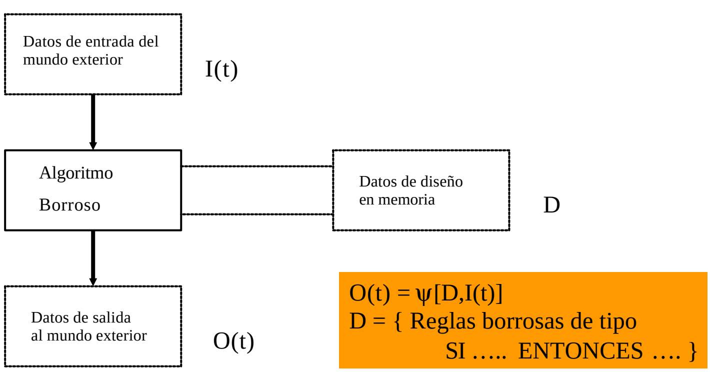
Reglas borrosas

- Ejemplos de reglas borrosas:



Algoritmos Borrosos II

- Un algoritmo borroso tiene el siguiente esquema general:



Reglas del algoritmo borroso

- Sea :
  S = Sentencia borrosa A(x), por ejemplo “La temperatura es baja”
  Θ = Operadores lógicos (AND, OR, etc)
- Las reglas borrosas de un algoritmo borroso son:
  $S_{1,1}\ \Theta_{1,1}\ S_{1,2}\ \Theta_{1,2} \dots\dots\dots\dots\ S_{1,k} \rightarrow S_{1,c}$ Regla 1
  ….. ……
  $S_{n,1}\ \Theta_{n,1}\ S_{n,2}\ \Theta_{n,2} \dots\dots\dots\dots\ S_{n,k} \rightarrow S_{n,c}$ Regla n
- Cada regla tiene un antecedente, o lado izquierdo, formado por la operación de varias sentencias borrosas y un consecuente, o lado derecho, o *variable de acción*.
  SI la temperatura es alta y la presión es media ENTONCES bajar un poco el caudal de combustible.

Reglas del algoritmo borroso II

- En cada una de las sentencias del antecedente se examina una variable lingüística de entrada (“temperatura”) y su grado de pertenencia a un conjunto borroso (“temperaturas altas”). Esta *absorción* de la entrada produce un *grado de cumplimiento* para cada regla, **r(t).**
- Estos grados de cumplimiento producen salidas a través del proceso de implicación (→) O_1(t),…… O_n t) .
- La salida de cada regla, que es un conjunto borroso, se obtiene por medio de la operación de implicación elegida (Mandani , Larsen , etc) entre la función de pertenencia y el grado de cumplimiento.
- De esta forma, se obtienen n conjuntos borrosos como resultado de las n reglas borrosas.

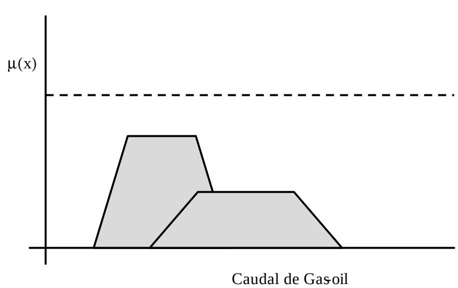
Desemborronado, Aclarado

- La *agregación* de dos o más conjuntos borrosos (o funciones de pertenencia) da un nuevo conjunto borroso en el algoritmo básico de inferencia borrosa (ABIB).
- En la mayoría de los casos, un resultado en forma de un conjunto borroso se convierte un un resultado nítido, dado que tanto la plataforma de trabajo como el mundo exterior suelen ser nítidos.
- Este proceso es uno de los puntos más débiles de todo el sistema. Existen varios métodos de aclarado que dan resultados diferentes:

Métodos del Centroide	**Métodos del Máximo**
Centro de Gravedad.	Media de máximos.
Centro de Masas.	Máxima posibilidad.
Centro del área más grande.	Máximos izquierda-derecha.
……………...	

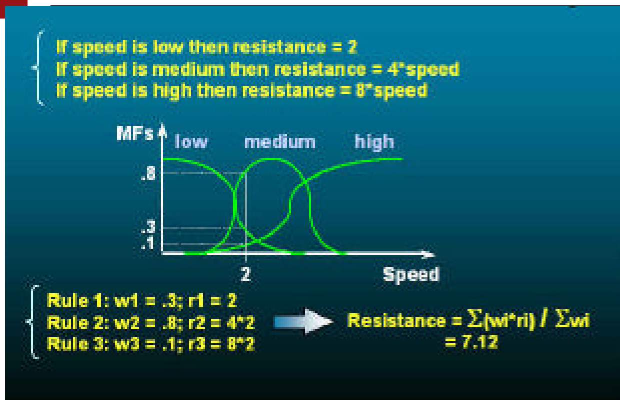
Ejemplo de aclarado

- Supongamos que la variable "Caudal de gas-oil" aparece en los consecuentes de dos reglas:



¿Cuál es el caudal real a ajustar ?

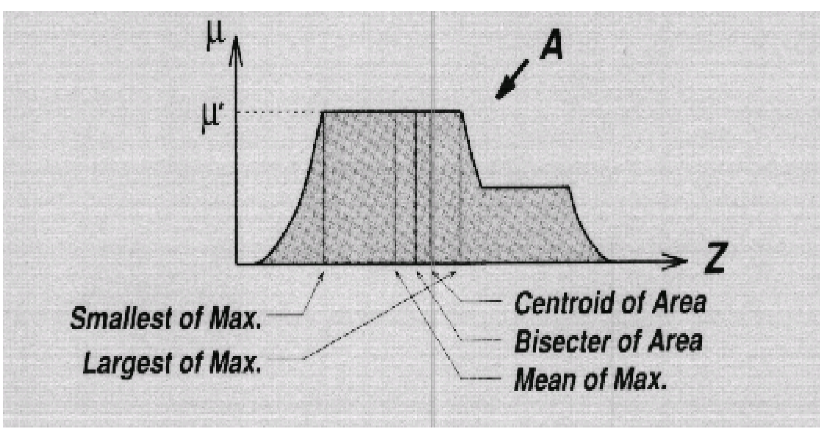
Otro ejemplo



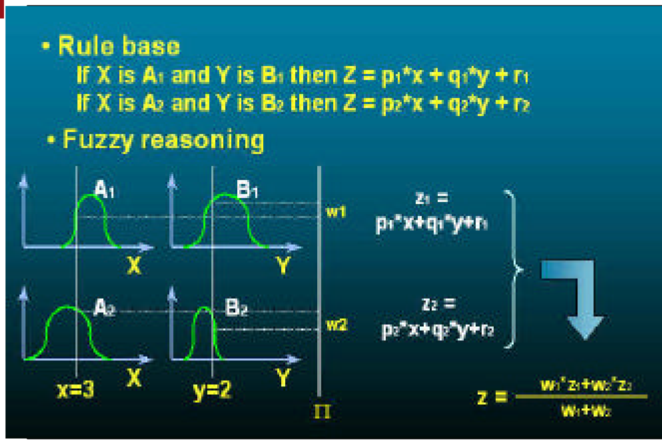
Consecuentes nítidos

Aclarado por centro de gravedad

Algunos tipos de aclarado



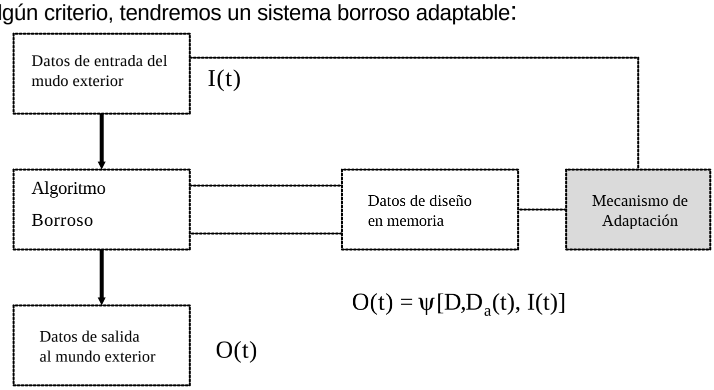
Razonamiento con dos reglas



Consecuentes nítidos

Sistemas Borrosos Adaptables

- Si todo, o parte, de los datos de diseño (reglas borrosas) pueden cambiar en base a algún criterio, tendremos un sistema borroso adaptable:



$O(t) = \psi[D, D_a(t), I(t)]$

Sistemas Borrosos Adaptables II

- Por ejemplo, se pueden cambiar las formas de las funciones de pertenencia (caso más habitual).
- Se puede cambiar el número de conjuntos borrosos, crear nuevas variables borrosas, emplear otros operadores de implicación y cambiar el método de aclarado.
- En otros casos, todo el conjunto de reglas, D, se *aprende* de forma automática examinando el mundo exterior (datos de entrada - datos de salida). Para ello se emplean un cierto número de técnicas, entre las cuales las RNA están dando muy buenos resultados.

Ejemplo de sistema borroso

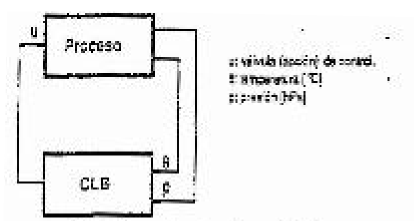


Fig. 6 Lazo de control con CLB.

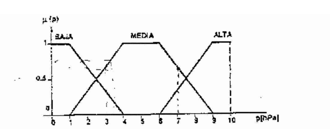


Fig. 7 Partición del universo de la variable lingüística presión.

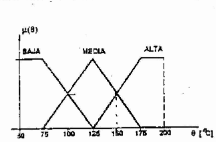


Fig. 8 Partición de la variable lingüística temperatura.

- Sistema de control borroso.
  - Entrada: Temperatura y presión.
  - Salida: Acción de control

Ejemplo de sistema borroso II

- Si p = 7 y θ = 150
- p es media (0.67) y alta(0.33)
- θ es media (0.5) y alta(0.5)

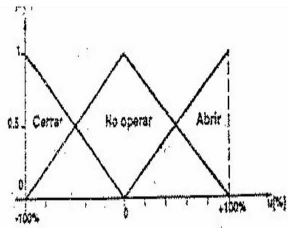


Fig. 9 Partición de la variable lingüística de acción.

R_1: SI *p es baja* Y θ *es baja* ENTONCES *u es abrir*

R_2: SI *p es media* Y θ *es baja* ENTONCES *u es abrir*

R_3: SI *p es alta* Y θ *es baja* ENTONCES *u es no operar*

R_4: SI *p es baja* Y θ *es media* ENTONCES *u es abrir*

R_5: SI *p es media* Y θ *es media* ENTONCES *u es no operar*

R_6: SI *p es alta* Y θ *es media* ENTONCES *u es cerrar*

R_7: SI *p es baja* Y θ *es alta* ENTONCES *u es no operar*

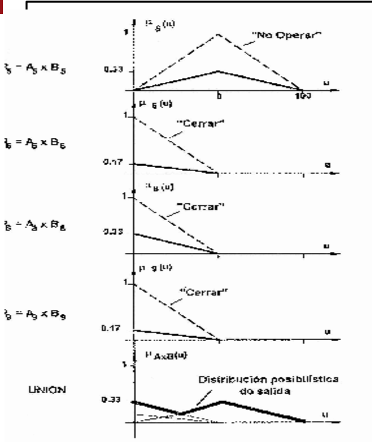
R_8: SI *p es media* Y θ *es alta* ENTONCES *u es cerrar*

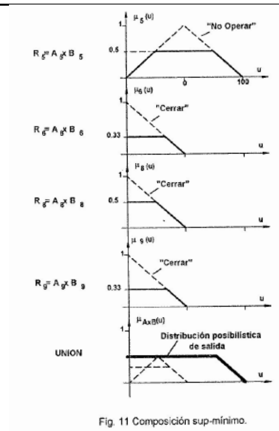
R_9: SI *p es alta* Y θ *es alta* ENTONCES *u es cerrar*

Ejemplo de sistema borroso III

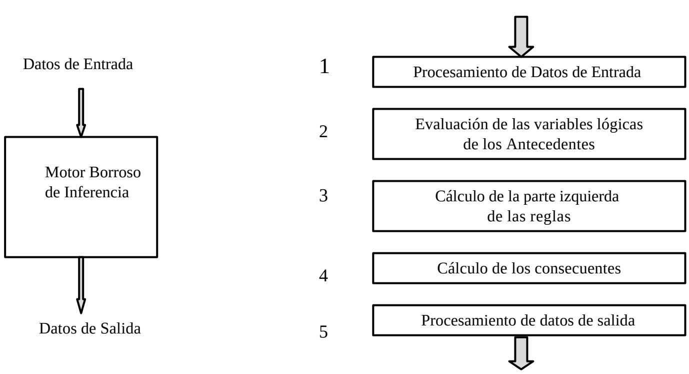
- Con los valores de presión y temperatura anteriores se disparan las reglas 5,6,8 y 9. Las demás tienen alguna sentencia con grado de cumplimiento nulo.
- En las dos transparencias siguientes se observa el resultado de la implicación con la regla de Mandani (mínimo) o con la de Larsen (producto).
- En ambos casos, la salida es un nuevo conjunto borroso obtenido por agregación de las salidas de las reglas que se disparan.

Resultados con reglas de Larsen y Mandani





Algoritmo Básico de Inferencia Borrosa (ABIB-I)

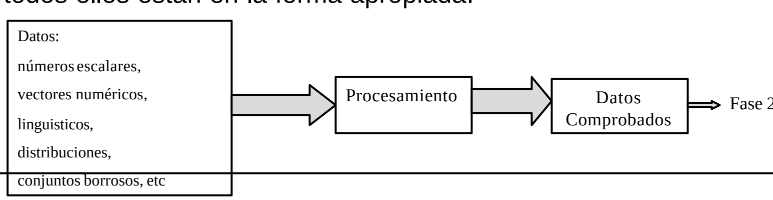


ABIB-2

- El ABIB se emplea en la mayoría de las aplicaciones vigentes, tanto de control como de otros ámbitos.
- El requisito básico es la disponibilidad de una solución articulada en forma de reglas SI...... ENTONCES ....
- La inferencia se basa en el paradigma MPG (Modus Ponens Generalizado), considerado como una transformación de los grados de cumplimiento del lado izquierdo de las reglas a grados de posibilidad de los lados derechos.
- Las reglas consideradas en este algoritmo básico tienen un solo consecuente (forma canónica). Las reglas compuestas han de traducirse previamente a forma canónica.

Procesamiento de los datos de entrada I

- Previo a su tratamiento, existe un pre-proceso de los datos para su validación (sintaxis, formato, rango, etc) o su transformación (valores medios, filtrado, etc).
- Un motor borroso de inferencia puede procesar datos mixtos: numéricos y linguísticos, dado que todos ellos se transforman en valores de pertenencia [0..1]. Por consiguiente, el procesamiento de los datos de entrada tiene como objetivo asegurarse de que todos ellos están en la forma apropiada.



Procesamiento de los datos de entrada II

- Un motor de inferencias normalmente tiene varias variables de entrada, que se conocen como *conjunto de datos de entrada* (presión y temperatura en ele ejemplo anterior).
- Alguno de los datos de entrada pueden, a su vez, ser múltiples. Por ejemplo, una secuencia de valores anteriores.
- En los casos en que el **orden** de los datos sea significativo se dice que están *correlados secuencialmente* sobre una variable independiente. Por ejemplo, secuencia de k valores anteriores, perfil de temperaturas en un difusor, etc.
- En los casos en que el orden de los datos no sea significativo, se dice que son de tipo *sección cruzada*.

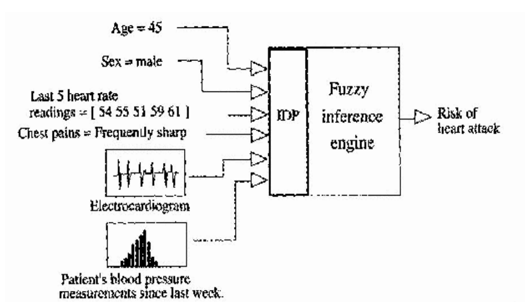
Ejemplo de entradas mixtas.

Datos no borrosos

Correlados secuencialmente

Datos borrosos

Distribuciones



Paso 2: Evaluación de variables lógicas

- Una variable borrosa puede considerarse como un conjunto nítido de conjuntos borrosos, X= {μ_1(x), μ_2(x),… μ_N x)}. Al evaluar una variable de entrada, se evalúan sus grados de pertenencia a todos los conjuntos borrosos. El resultado es un conjunto, o vector , de grados de pertenencia en el que cada elemento indica la posibilidad producida por esta entrada.

  Por ejemplo, en el caso de la temperatura y presión del ejemplo anterior, si p=7 y θ = 150, tenemos para la presión (3 conjuntos borrosos) el vector {0, 0.67, 0.33} y para temperatura {0, 0.5, 0.5}.

- En algunos casos, los valores de pertenencia muy pequeños se eliminan por alguna función de umbral, para disminuir la complejidad computacional de las reglas.

Paso 3: Cálculo de la parte izquierda

- Puesto que los valores de pertenencia se han obtenido en la fase anterior, la fase 3 consiste en el cálculo de los operadores de la parte izquierda de cada regla:

Valores de pertenencia de cada sentencia borrosa → Operadores Lógicos: AND, OR, etc → Grado de cumplimiento de cada regla

- En nuestro anterior ejemplo, la regla 5 (SI p es media Y θ es media ..) tiene un grado de cumplimiento de (0.67 AND 0.5) = 0.5. La regla 6, (SI p es alta y θ es media ..) tiene un grado de cumplimiento de (0.33 AND 0.5) = 0.33, etc

Paso 4: Cálculo de los consecuentes.

- Si las reglas están en forma canónica, no hay más que un consecuente por regla (Parte derecha), asociada a un grado de cumplimiento (parte izquierda). El cálculo del consecuente puede entonces hacerse de varias formas, como se vió: Mamdani, Larsen etc.

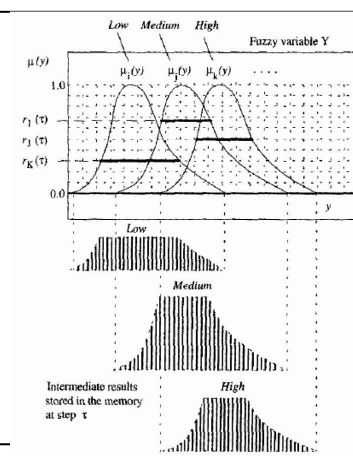
Grado de cumplimiento de cada regla → Cálculo de la implicación → Conjuntos borrosos de salida

Ejemplo del paso 4

En este ejemplo hay tres reglas:

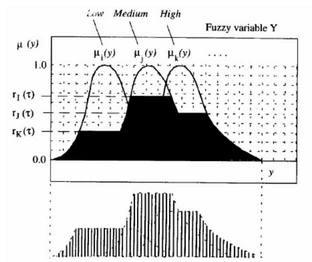
I ..... ENTONCES Y es medio
J ...... ENTONCES Y es Alto
K .... ENTONCES Y es Bajo

con los grados de cumplimiento r indicados en la figura. Se ha aplicado la implicación de Mamdani



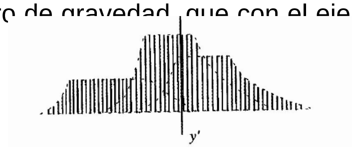
Agregación de las salidas.

- La agregación de los conjuntos borrosos así obtenidos se hace, normalmente, a través de la operación de unión de conjuntos. Así, en el ejemplo anterior, se obtiene un nuevo conjunto borroso:



Paso 5: Procesamiento los datos de salida.

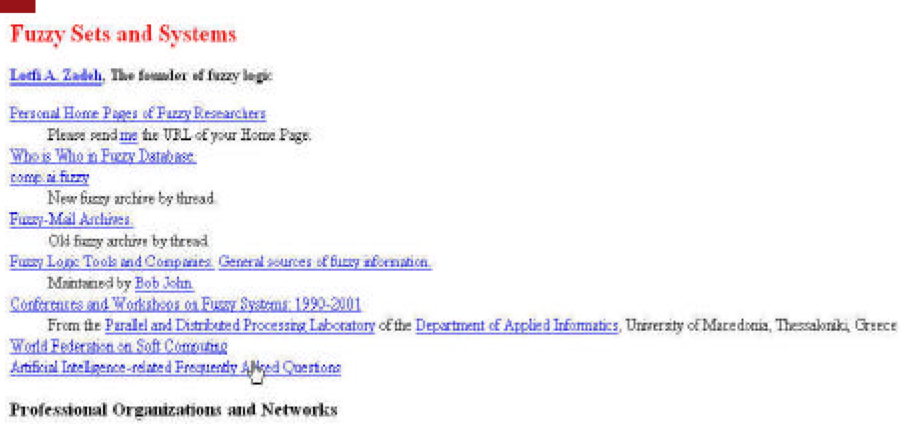
- El último paso es la generación de las salidas de forma que se puedan usar en aplicaciones prácticas. Hay tres formas de salidas posibles:
  - Salida numérica escalar.
  - Salida linguística, juntamente con su posibilidad.
  - Conjunto borroso que representa una distribución de posibilidades.
- La primera forma, la más usual, es el llamado desemborronado, o aclarado, para lo cual existen varias alternativas. La más habitual es la del centro de gravedad, que con el ejemplo anterior:



Paso 5: Procesamiento los datos de salida II

- En la segunda forma la salida se da de forma linguistica aplicando algún criterio para elegir la clase de salida. En su forma más simple, este criterio puede ser la altura máxima.
  - En el caso anterior, la salida podría ser “ Y es medio con posibilidad 0.77”
- Este tipo de salida linguistica solamente se emplea en aplicaciones a ciencias sociales, economía o medicina, en las cuales se busca una respuesta en lenguaje *natural.*
- Finalmente, la tercera forma de salida (el propio conjunto borroso) no se emplea mucho porque los sistemas de harware-software existentes no son adecuados para procesar este tipo de información.

http://www.abo.fi/~rfuller/fuzs.html


Fuzzy Sets and Systems

Lotfi A. Zadeh, The founder of fuzzy logic

Personal Home Pages of Fuzzy Researchers
Please send me the URL of your Home Page.
Who is Who in Fuzzy Database
comp.ai.fuzzy
New fuzzy archive by thread
Fuzzy-Mail Archives
Old fuzzy archive by thread
Fuzzy Logic Tools and Companies, General sources of fuzzy information
Maintained by Bob John
Conferences and Workshops on Fuzzy Systems: 1990-2001
From the Parallel and Distributed Processing Laboratory of the Department of Applied Informatics, University of Macedonia, Thessaloniki, Greece
World Federation on Soft Computing
Artificial Intelligence-related Frequently Asked Questions

Professional Organizations and Networks

http://www.ortech-engr.com/fuzzy/reservoir.html

Ortech Engineering Inc.

Fuzzy Logic Reservoir

Make sure your air tanks are full and take a deep breath before diving into this reservoir. Also be sure to string a return line during your exploration or you might never find your way back home. Gems located at this site are marked by a treasure chest -- all others will take you on a cyberdive. Enjoy your trip.

Jump off the diving platform in one of the following directions to begin your adventure:

The Diving Platform	
Enjoy Our Crystal Clear Waters On-line Papers, Journals, and other Publications	Visit Our Coral Reefs Fuzzy Logic Labs at Universities

www.ing.unal.edu.co/~ogduarte/softwareDetallado.htm

Software desarrollado

UNFUZZY 1.2:

Software para el Análisis, Diseño, Simulación e Implementación de Sistemas de Lógica Difusa. Corre en plataformas Win32. Puede obtener el

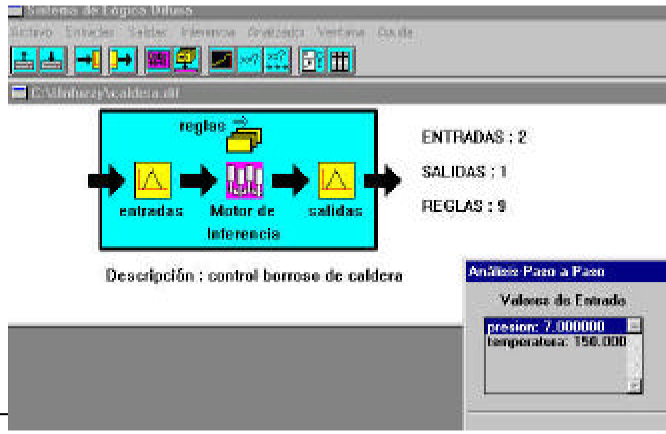
manual del usuario(198 Kb) en formato Word 6.0 , aunque la información de este manual se encuentra contenida en la Ayuda en línea del programa.

La versión 1.2 presenta dos novedades respecto a la versión 1.1:

- Se incluye un programa adicional, UNF.EXE, que permite emplear los Sistemas de Lógica Difusa diseñados previamente con UNFUZZY, sin necesidad de desplegar la interfaz gráfica. Los datos de entrada y de salida se almacenan en archivos de texto.
- UNFUZZY está ahora disponible también en otros idiomas, aunque el Manual de Usuario y la Ayuda en Línea están aún (y permanecerá por algún tiempo) en Español:
  - Español (890 Kb)
  - Inglés (890 Kb)
  - Italiano (890 Kb): Traducido por Mirko Sitta
  - Checo (890 Kb): Traducido por Jan Prochazka (Algunos acentos no se visualizan, o lo hacen de forma incorrecta)

  ¿Desea obtener UNFUZZY en un idioma diferente? Para ello necesitamos tu ayuda: sólo tienes que descargar un archivo en Español(2.3Kb) o en Inglés(2.3Kb), traducirlo a tu idioma, y enviarlo a Oscar Duarte. En unos días estará disponible la versión en tu idioma. Gracias a la colaboración desinteresada de Mirko Sitta y Jan Prochazka tenemos ahora las versiones en Italiano y en Checo."
- *UNFUZZY is now available in other languages, but the User's Manual and the Help Files are still (and will remain for some time) in Spanish:*
  - *Spanish (890 Kb)*
  - *English (890 Kb)*
  - *Italian (890 Kb): Translated by Mirko Sitta*
  - *Czech (890 Kb): Translated by Jan Prochazka (some special characters are not displayed, or they are wrong)*

UNFUZZY para desarrollo de sistemas borrosos



El ejemplo de la caldera con UNFUZZY