

Técnicas, Entornos y Aplicaciones de Inteligencia Artificial

Videos Recomendados para su Visualización previa a la Clase (Tema-2)

DOCENCIA VIRTUAL

Finalidad:

Prestación del servicio Público de educación superior (art. 1 LOU)

Responsable:

Universitat Politècnica de València.

Derechos de acceso, rectificación, supresión, portabilidad, limitación u oposición al tratamiento conforme a políticas de privacidad:

<http://www.upv.es/contenidos/DPD/>

Propiedad intelectual:

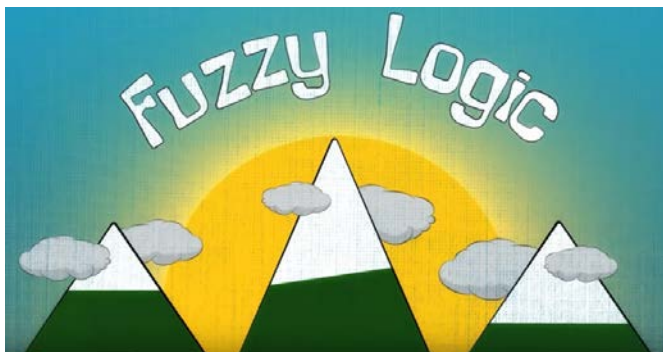
Uso exclusivo en el entorno de aula virtual.

Queda prohibida la difusión, distribución o divulgación de la grabación de las clases y particularmente su compartición en redes sociales o servicios dedicados a compartir apuntes.

La infracción de esta prohibición puede generar responsabilidad disciplinaria, administrativa o civil



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



2.1: Razonamiento Impreciso. Lógica Difusa.

- Imprecisión de la Información. Lógica Difusa. Conjuntos Difusos. Operaciones.
- Proceso Inferencial: Fusificación, Defusificación, Inferencia Difusa.
- Entornos y Aplicaciones

2.2: Incertidumbre. Razonamiento Probabilístico.

- Conceptos básicos. Aplicación Teoría de la Probabilidad. Modelos simples.
- Redes Bayesianas

Bibliografía

- Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno. Rusell, Norvig. Prentice Hall, 2004. Cap. 13, 14, 16
- Inteligencia Artificial. Técnicas, métodos y aplicaciones. Varios autores. McGraw Hill (2008) Cap.6-7
- Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis. N. Nilsson McGraw Hill (2000).

Otras referencias:

- FuzzyClips (desarrollado por National Research Council , Canada)
- European Centre for Soft Computing (<http://www.softcomputing.es/>)

Tema 2.1- Razonamiento Impreciso. Lógica Difusa

- Imprecisión de la Información.
- Lógica Difusa. Conjuntos Difusos. Operaciones.
- Proceso Inferencial: Fusificación, Defusificación, Inferencia Difusa.
- Entornos y Aplicaciones

Bibliografía

- **Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno.** Rusell, Norvig. Prentice Hall, 2004. Cap. 13, 14
- **Inteligencia Artificial. Técnicas, métodos y aplicaciones.** Varios autores. McGraw Hill (2008) Cap.6-7, 14
- **Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis.** N. Nilsson McGraw Hill (2000).

Enlaces:

- [FuzzyClips](#) (desarrollado por National Research Council (Canada))

Imprecisión: Grado de precisión del conocimiento

Datos conocidos aproximadamente, Precisión de las medidas, Datos cualitativos y/o simbólicos, etc.

- **Hechos:** Hoy llueve '**mucho**', Hace '**mucho frío**', Es '**bastante cierto**' que...,
El síntoma duró **aprox 2 horas**, ...
- **Reglas:** Los hombres **ricos** son **felices**,
Si está **muy nuboso** entonces **probablemente** llueva **mucho**,
Los coches **caros** duran **mucho tiempo**
Si el agua está **muy fría**, abre **mucho** el grifo de la caliente

⇒ Lógica difusa de Zadeh

Definición de conjuntos (conceptos, predicados) difusos y extensión de las reglas de inferencia.

⇒ Razonamiento difuso

*El dolor empezó **hacia la 25ª** semana de gestación y duró **casi dos días**.*

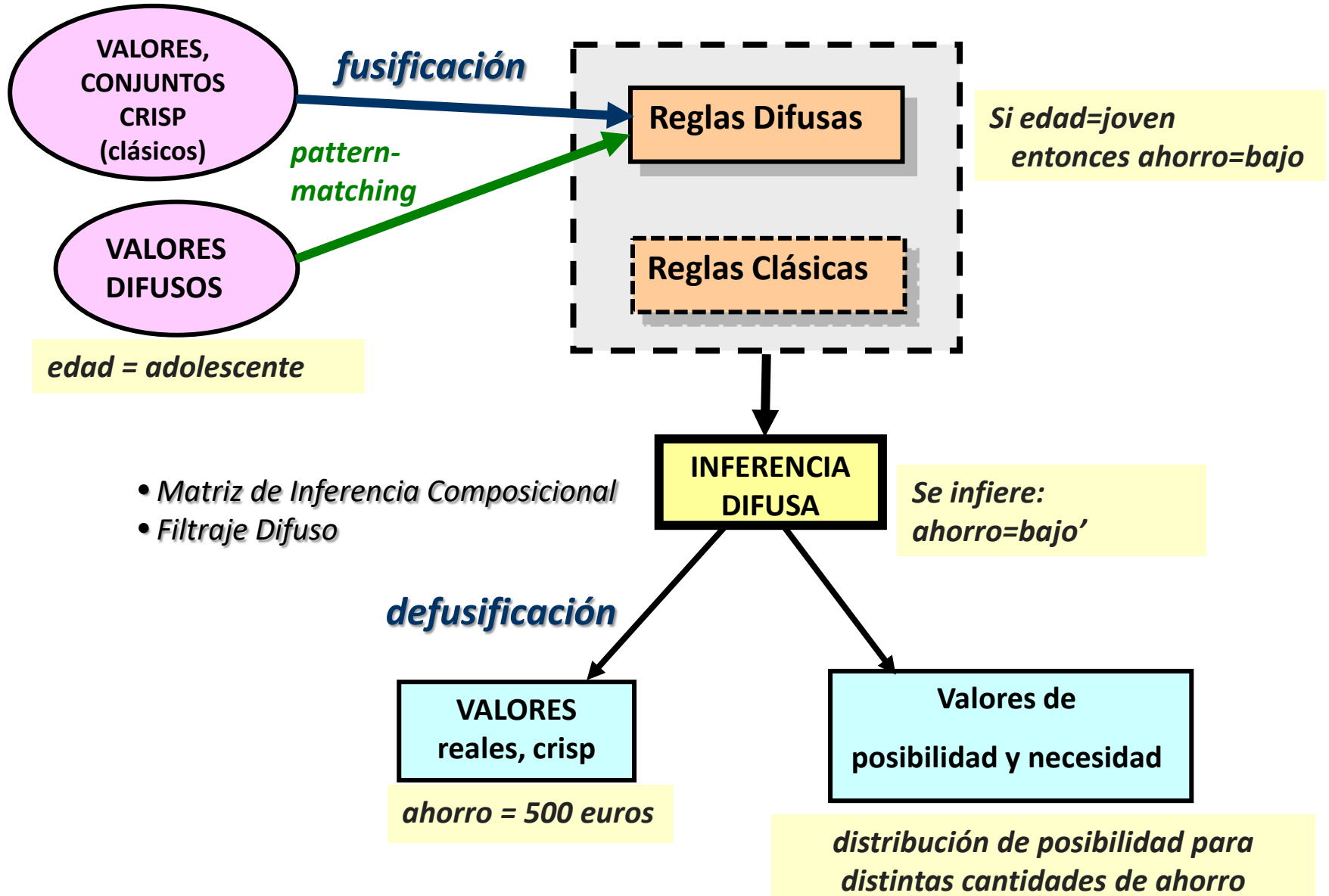
***Casi a la vez** la paciente empezó a sufrir mareos y **fiebre alta**.*

***Unos dos meses** después apareció hipertensión arterial **severa**, y en la consulta de la **36ª** semana se detectó un **muy alto índice** de proteinuria.*

*Todo ello permite pensar que **unos días antes** se incrementó **considerablemente** el nivel de glucosa en sangre.*

Razonamiento Difuso

edad = 19
17 < edad < 25



Winners of the fuzzy logic video competition held by the IEEE Computational Intelligence Society

[An Egg-Boiling Fuzzy Logic Robot](#)

KIOS Research Center for Intelligent Systems and Networks, University of Cyprus

https://www.youtube.com/watch?v=J_Q5X0nTmrA



Otros:

➤ [An Introduction to Fuzzy Logic](#)

• [Fuzzy Logic: An Introduction](#)
DeMontfort University, Leicester, England.

• [Benjamin Franklin Medal Winner: Lotfi Zadeh](#)



Zojirushi Micom Fuzzy-Logic - Arrocera y calentador 10 cup blanco

Marca: ZOJIRUSHI

★★★★☆ 208 valoraciones



Aspirador Escoba Ultimate Digital

Fuzzy - Lavarropas Automático Drean 5 KG CONCEPT FUZZY LOGIC TECH V1
Blanco

Referencia - 9489000C

Etiquetas: aspirador es

★★★★★ 3 opiniones

219 €

[Descripción](#) [Especificaciones técnicas](#)

- 1 +

Añadir al car

Aspirador escoba Driver, que lo co compacto, más l Brush Fuzzy es ideal para parquet y suelos duros.

Cuenta con 80.000 rpm que garantizan la limpieza más eficaz y con sol 2 kg de peso que asegura la máxima versatilidad. Aspira durante más de



Comodidad a la hora de lavar



Comando electrónico

Gracias al comando electrónico del Lavarropas Automático Drean CONCEPT FUZZY LOGIC TECH vas a poder seleccionar



Inteligencia Concept

El Lavarropas Drean CONCEPT FUZZY LOGIC TECH es capaz con tan sólo presionar un botón, de detectar la cantidad de

Lógica Difusa. Conjuntos difusos (Zadeh, 1979).



Conjunto Clásico P, definido en un Universo U, mediante un predicado $P(x)$: $U \rightarrow \{0, 1\}$

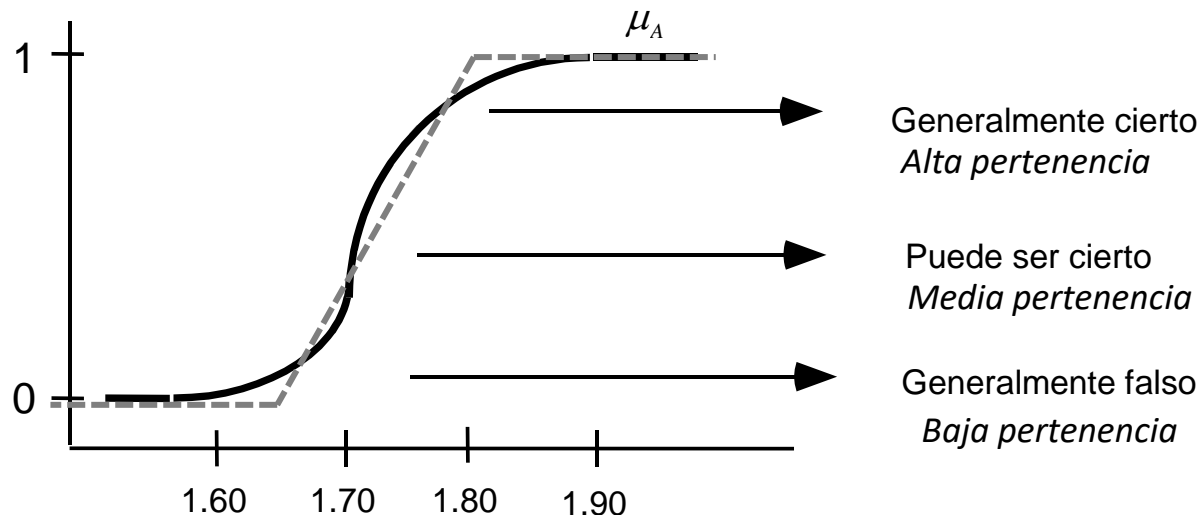
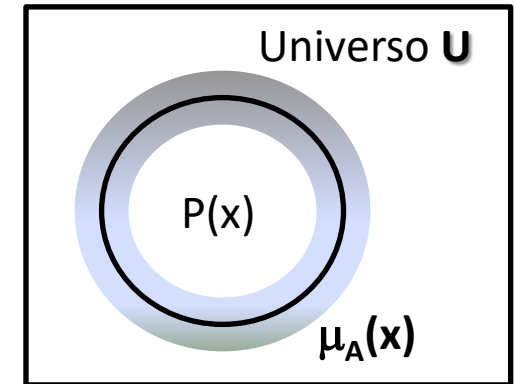
Conjunto difuso A, definido en un Universo U mediante una

Función de Pertenencia $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$

Ejemplo:

U: altura de personas (metros)

A: conjunto difuso “personas altas”



Variables y Valores Difusos

Variable difusa (o variable lingüística): *Estatura*

Valores de la variable difusa (o valores lingüísticos): *{alta, media, baja}*

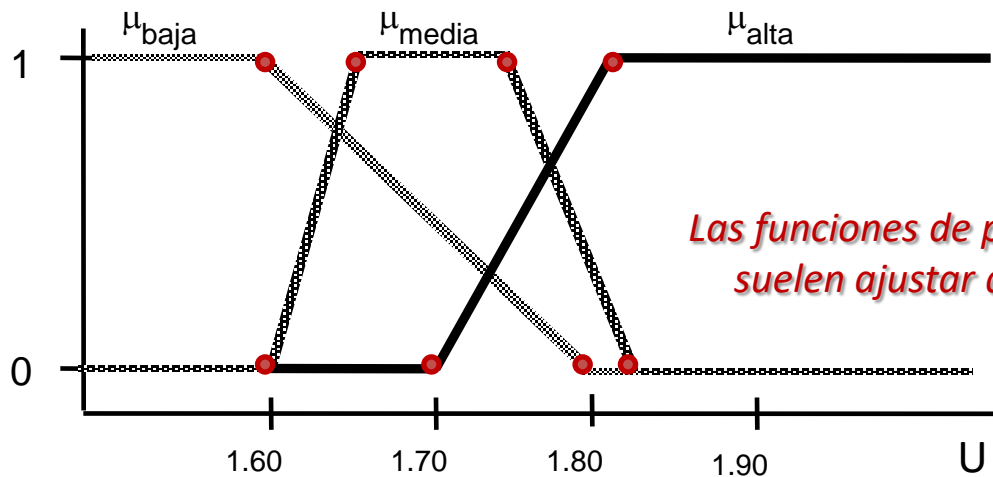
Conjuntos Difusos {Estatura-alta, Estatura-media, Estatura-baja} \Rightarrow Funciones de pertenencia

A1: conjunto difuso que representa estatura baja (μ_{baja})

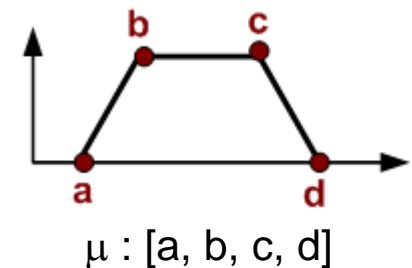
A2: conjunto difuso que representa estatura media (μ_{media})

A3: conjunto difuso que representa estatura alta (μ_{alta})

La 'pertenencia' valora la posibilidad, verosimilitud, creencia, preferencia, etc., de pertenecer a un conjunto.



Las funciones de pertenencia se suelen ajustar a trapecios.



La partición del dominio U (en f conjuntos difusos) puede tener como propiedades:

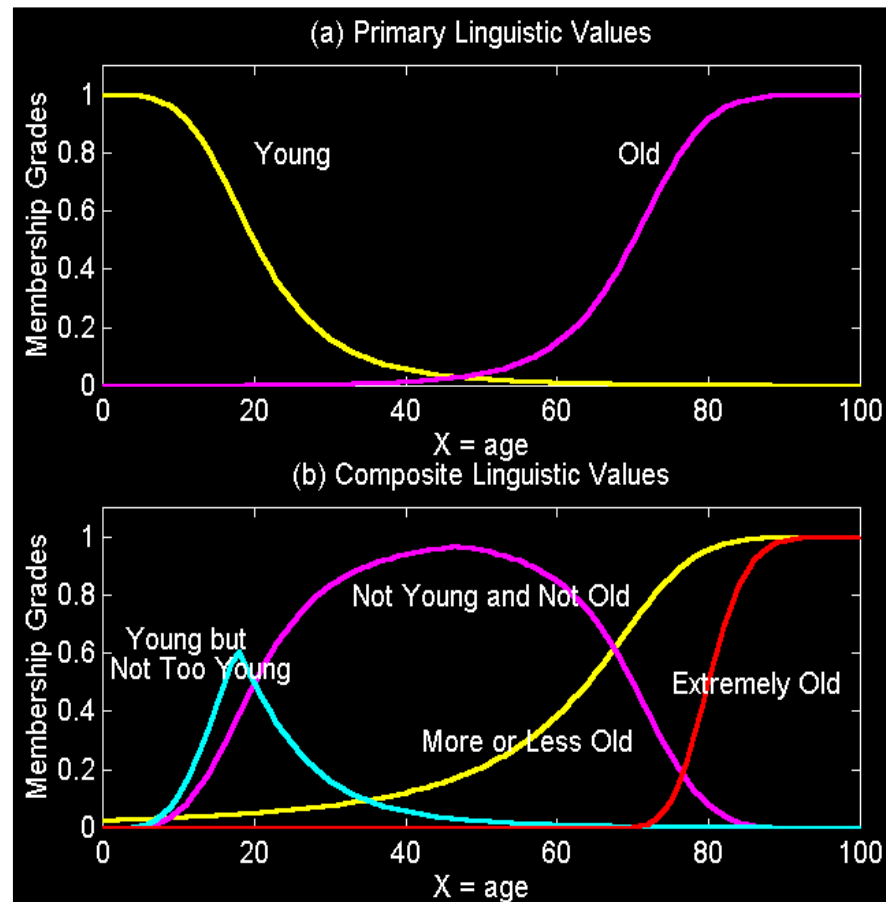
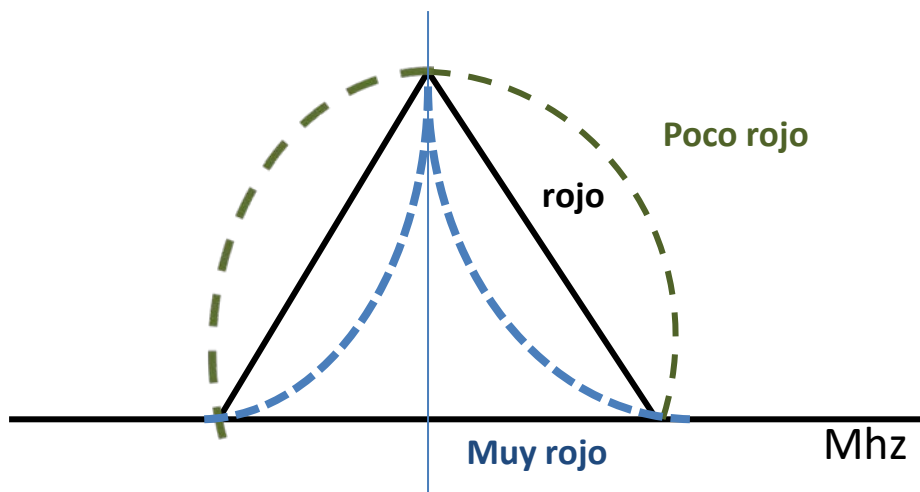
- **Compleitud:** ningún valor del dominio queda fuera de la partición fuzzy.
- **Partición fuerte:** Suma de las funciones de pertenencia para cada valor del dominio es 1:

$$\sum_{\forall x \in U}^f \mu_f(x) = 1$$

Modificadores Lingüísticos:

Un valor difuso puede ser modificado mediante modificadores lingüísticos.
Existen estándares para la definición de modificadores lingüísticos.

X es A	$\Rightarrow \mu_A(x)$
X es extremadamente A	$\Rightarrow (\mu_A(x))^3$
X es muy A	$\Rightarrow (\mu_A(x))^2$
X es más-o-menos A	$\Rightarrow \sqrt{\mu_A(x)}$
X es algo A	$\Rightarrow (\mu_A(x))^{1/3}$
X no es A	$\Rightarrow 1 - \mu_A(x)$



Operaciones con conjuntos difusos

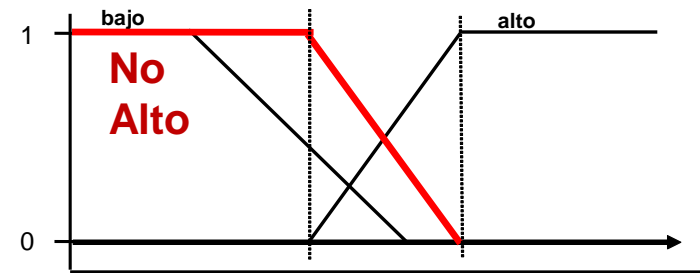
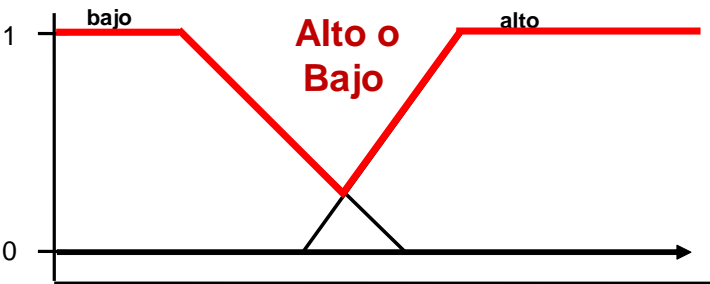
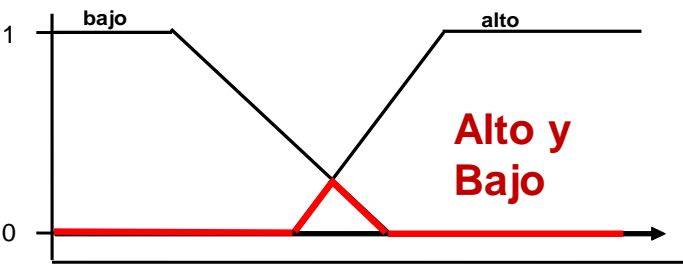
Igualdad de conjuntos (A=B): $\forall x \in U, \mu_A(x) = \mu_B(x)$

Complemento de un conjunto difuso A: $\mu^{-1}_A(x) = 1 - \mu_A(x)$

Inclusión de conjuntos $A \subseteq B$: $\forall x \in U, \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$

Intersección de dos conjuntos $A \cap B$: $\min(\mu_A(x), \mu_B(x))$

Unión de dos conjuntos $A \cup B$: $\max(\mu_A(x), \mu_B(x))$



Ejemplos de información difusa

Tamaño: {pequeño, medio, grande}

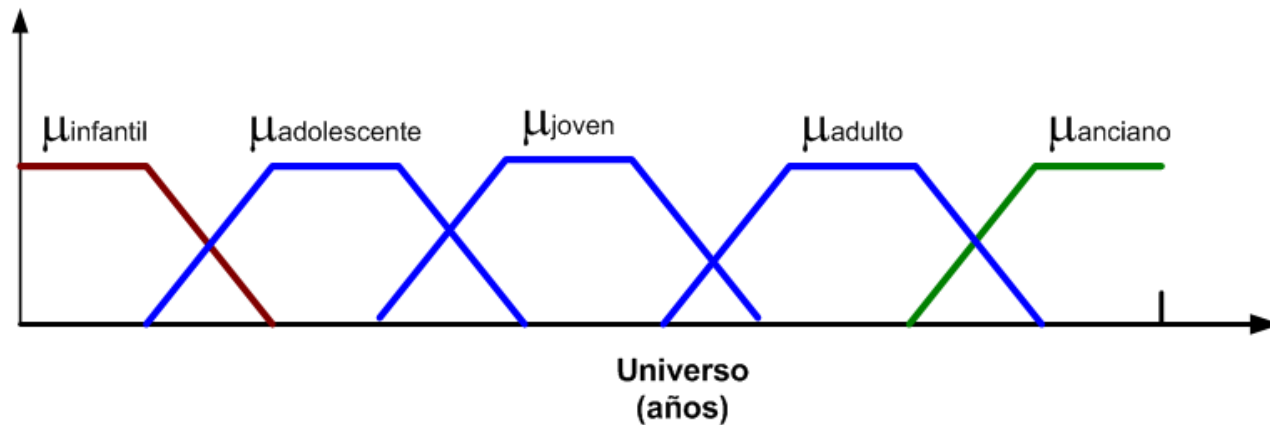
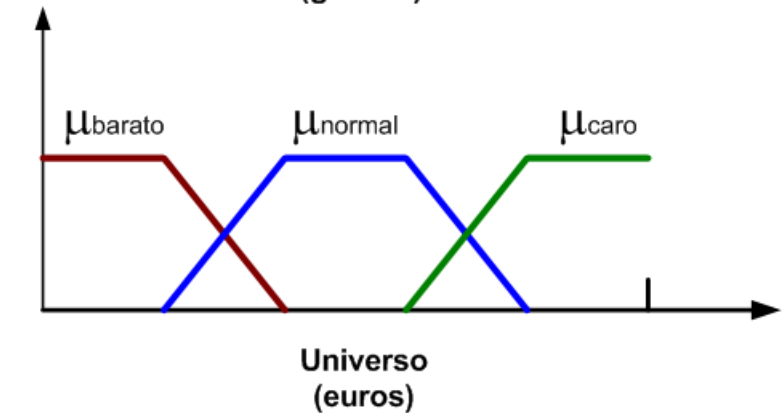
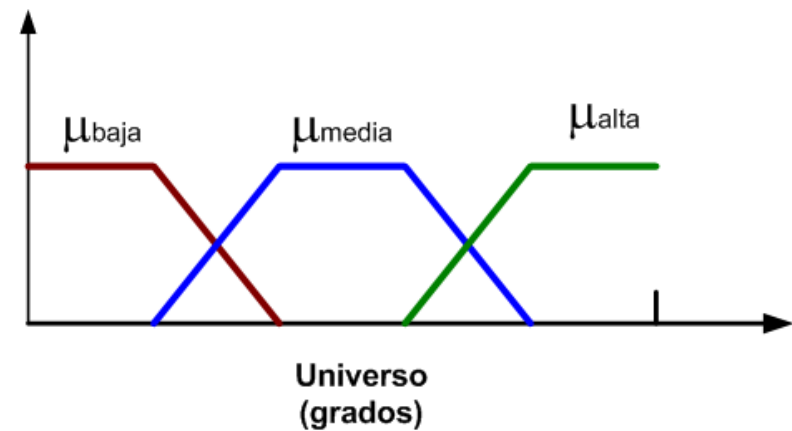
Estatura: {baja, media, alta}

Temperatura: {baja, media, alta}

Precio: {barato, normal, caro}

Edad: {infantil, adolescente, joven, adulto, anciano}

Etc.



Una **variable lingüística puede tomar diversos valores**, sin resultar contradictorio:

$$\text{Variable-Lingüística} = \text{Valor-difuso1}, \text{ Valor-difuso2}, \dots, \text{ Valor-difuso3}$$

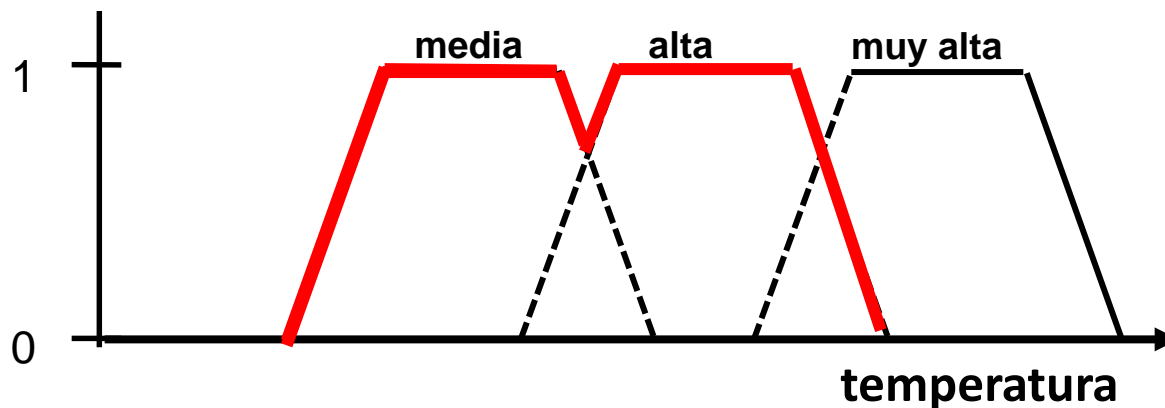
De esta manera, estamos asignando (OR) diversas distribuciones de posibilidad de valores en el dominio.

Ejemplo:

Como resultado de sucesivos procesos inferenciales, podemos obtener los siguientes valores sobre la variable lingüística temperatura:

$$\text{Temperatura} = \text{Alta}, \quad \text{Temperatura} = \text{Media} \Rightarrow \text{Temperatura} = \text{Alta} \cup \text{Temperatura} = \text{Media}$$

Estamos asignado distintas 'distribuciones de posibilidad' sobre el valor que puede tomar la temperatura:

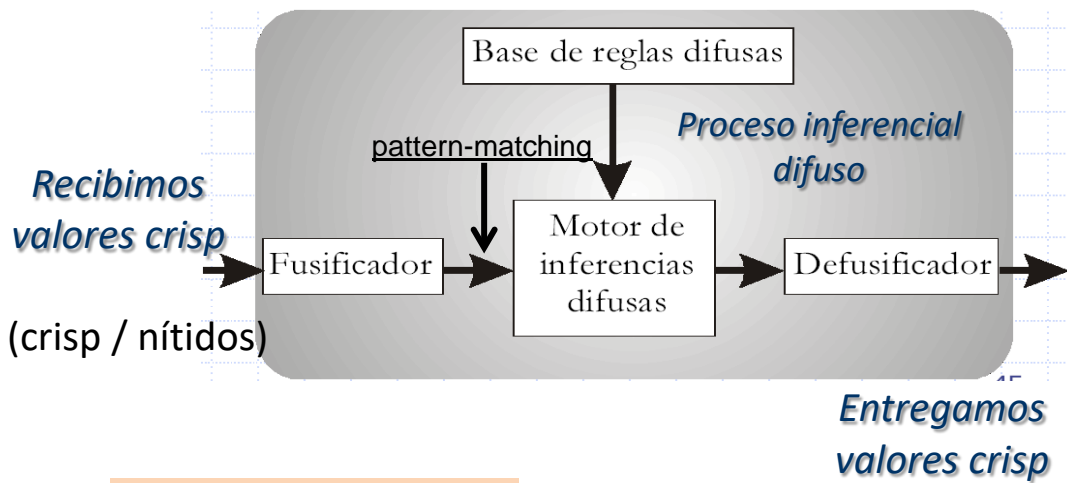


De acuerdo a esta distribución de posibilidades podremos obtener el valor de la temperatura (defusificación)

Inferencia Difusa

El proceso de Inferencia Difusa tiene 3 pasos:

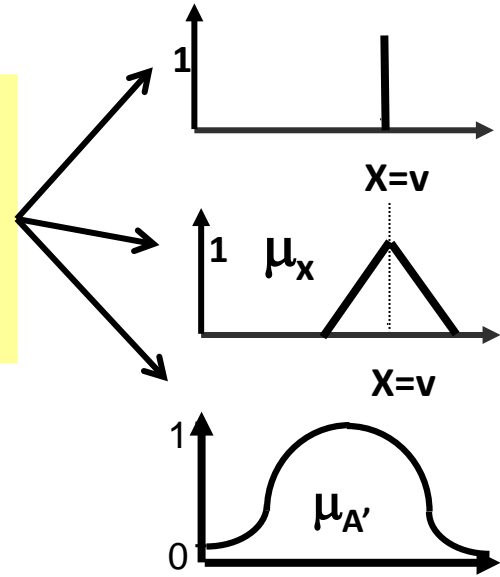
- 1. Fusificación a valores difusos, y proceso de pattern-matching
- 2. Aplicación de Reglas Difusas
- 3. Defusificación o traducción a valores reales (crisp / nítidos)



1) Fusificación / Pattern-Matching

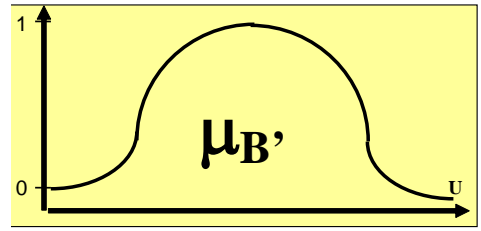
Hecho

x = Valor
 $x \in \{v_1 \dots v_n\}$
 x es A' ($\mu_{A'}$)



2) Inferencia Difusa

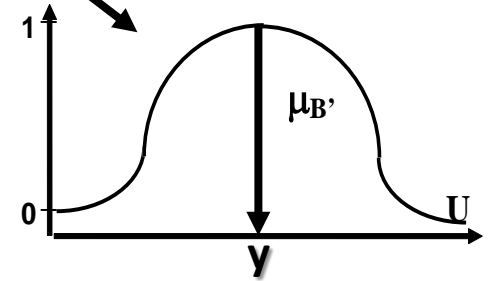
"si X es A_u entonces Y es B_v "



Modus Ponens difuso:
Matriz de Inferencia
Composicional

3) Defusificación

Medidas de Posibilidad
y Necesidad

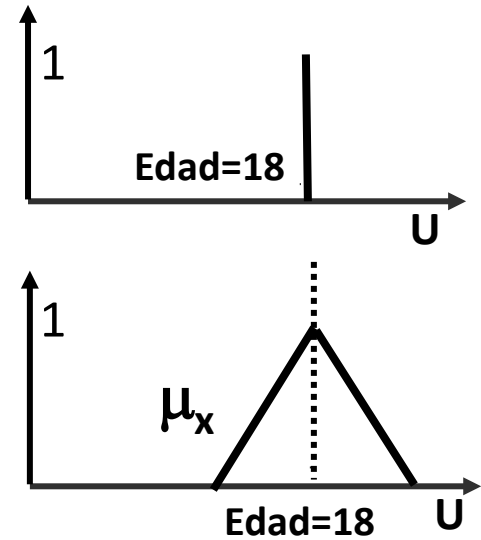


Ejemplo:
Agua:Fría \Rightarrow Apertura_Válvula:Poca
Si Agua:Tibia, ¿cuánto abrimos la válvula?

Fusificación de valores:

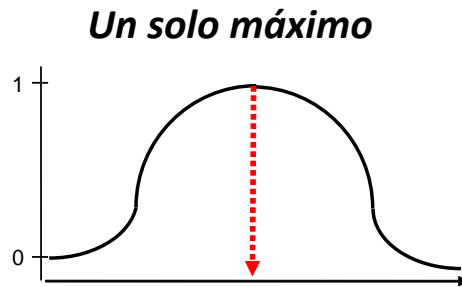
- a) **Fusificador tipo “singleton”**: Mapea un número real ($x=v$), o valor crisp, en conjunto difuso tipo “singleton”
- b) **Fusificador tipo “no singleton”**: Mapea un número real ($x=v$) en un conjunto difuso con una función de pertenencia (normalizada) definida. *En fuzzyclips (fuzzify edad 18 0.1)*

Con ello se puede realizar el pattern-matching de un valor crisp (fusificado) con conjuntos difusos.

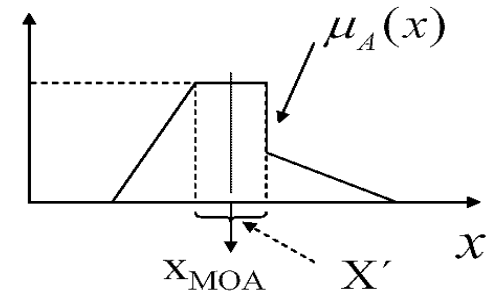


Defusificación:

- a) **Medio de los Máximos:**
(maximum-defuzzify ?var)

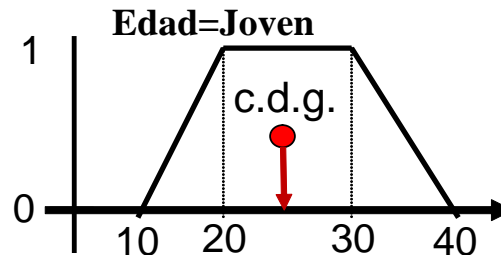


(Media de) Varios máximos



- b) **Método del Centro de Gravedad**
(moment-defuzzify ?var)

$$x_{COA} = \frac{\int \mu_A(x) x dx}{\int \mu_A(x) dx}$$



Inferencia Difusa: Modus Ponens Generalizado (MPG)

A, A' definido sobre U ; B, B' definido sobre V ,

$$\frac{X \text{ es } A' (\mu_{A'}) , \quad X \text{ es } A (\mu_A) \Rightarrow Y \text{ es } B (\mu_B)}{Y \text{ es } B' (\mu_{B'})}$$

Etapas:

- 1) Obtención de la **Matriz de Inferencia Composicional** (μ_R) de la regla difusa.

Se define sobre el producto cartesiano $U \times V$, representando la distribución condicional de:
"si x es A entonces Y es B ":

$$\mu_R: (U \times V) \rightarrow [0, 1] \quad \mu_R(u, v) = \min(\mu_A(u), \mu_B(v)), \quad \forall (u, v) \in U \times V$$

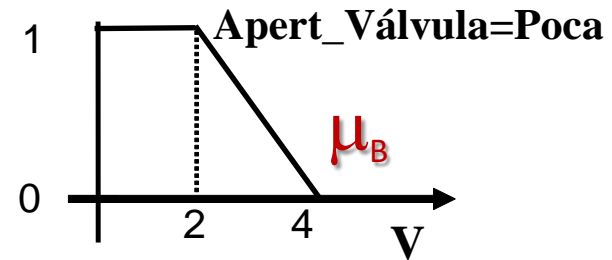
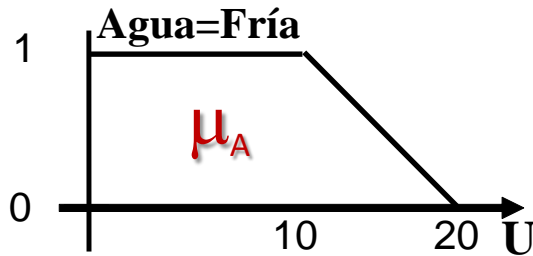
- 2) Obtención de la **función de pertenencia** $\mu_{B'}(v)$ de la conclusión, aplicando una *Regla Composicional de Inferencia* ($\mu_{B'}(v) = \mu_{A'}(u) \otimes \mu_R(u, v)$):

Existen varios métodos. Uno de los más utilizados es la **Regla de Inferencia max-min**:

$$\mu_{B'}(v) = \max(\min(\mu_{A'}(u), \mu_R(u, v)))$$

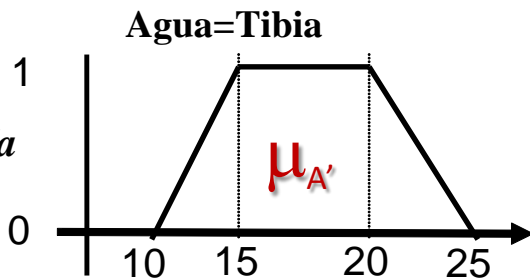
FuzzyClips: (*set-fuzzy-inference-type Max-min / Max-prod*)

Ejemplo-1: Si Agua:Fría \Rightarrow Apertura_Válvula: Poca



DATO

$\cong \text{Agua} = \text{Fría}$



$X \text{ es } A' (\mu_{A'}), \quad X \text{ es } A (\mu_A) \Rightarrow Y \text{ es } B (\mu_B)$

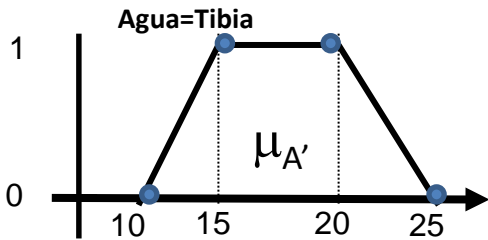
$Y \text{ es } B' (\mu_{B'})$

1) Obtención de $\mu_R(u,v)$

$$\mu_R(u, v) = \min(\mu_A(u), \mu_B(v)), \quad \forall (u,v) \in U \times V$$

4	0	0	0	0	0
3	0.5	0.5	0.5	0	0
2	1	1	0.5	0	0
(v) 0	1	1	0.5	0	0
	0º	10º	15º	20º	25º (u)

2) Obtención de $\mu_{B'}(v) = \max(\min(\mu_{A'}(u), \mu_R(u,v)))$



(v)	$\mu_R(u,v)$				
	0º	10º	15º	20º	25º
	0	0	0	0	0
	3	0.5	0.5	0	0
	2	1	1	0.5	0
	0	1	1	0.5	0

$\mu_{B'}(0) = \text{Max} \{ \min(\mu_{A'}(0), \mu_R(0,0)), \min(\mu_{A'}(10), \mu_R(10,0)), \min(\mu_{A'}(15), \mu_R(15,0)), \min(\mu_{A'}(20), \mu_R(20,0)), \min(\mu_{A'}(25), \mu_R(25,0)) \} =$
 $\text{Max} \{ \min(0,1), \min(0,1), \min(1,0.5), \min(1,0), \min(0,0) \} = 0,5$

$\mu_{B'}(2) = \text{Máx}\{ \min(0,1), \min(0,1), \min(1,0.5), \min(1,0), \min(0,0) \} = 0,5$

$\mu_{B'}(3) = \text{Max}\{ \min(0,0.5), \min(0,0.5), \min(1,0.5), \min(1,0), \min(0,0) \} = 0,5$

$\mu_{B'}(4) = \text{Max}\{ \min(0,0), \min(0,0), \min(1,0), \min(1,0), \min(0,0) \} = 0$

— Valores de agua=tibia

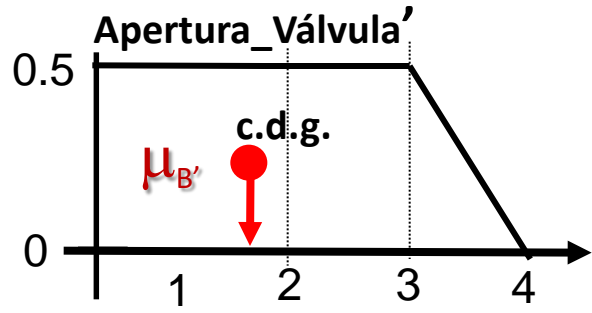
— Valores en matriz de inferencia

Aplicados sucesivamente para temperatura = 0, 10, 15, 20, 25

3) Defusificación:

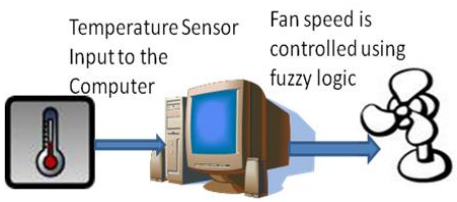
Conclusión:

Si el agua está tibia, abre la válvula:
1.5 puntos (Maximum-defuzzify),
1.76 puntos (Moment-defuzzify).



Ejemplo-2: Control de un Termostato (*Control Difuso*)

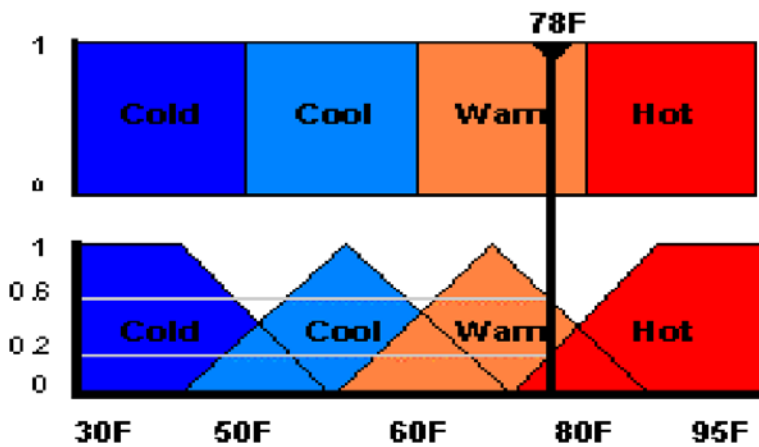
- Un controlador térmico tiene como entrada la **temperatura de la habitación** y como la salida el ajuste de la **velocidad del calentador**.
- Un termostato convencional trabaja como una llave de conexión **ON-OFF**: Si lo ponemos a **25°** el termostato se activa cuando la temperatura baja de **23°**; mientras que se apaga cuando alcanza **27° (histéresis)**



Como resultado, la temperatura de la habitación resulta **DEMASIADO CALIENTE** o **FRIA**.

Un **termostato difuso** trabaja ‘en tonalidades’, donde la temperatura es tratada como una serie de rangos que se superponen.

Por ejemplo: 26 °C (78 °F) es un 60% cálido y un 20% caliente.



El controlador difuso es programado con reglas **IF-THEN**, de forma que el ventilador varía gradualmente.

Como resultado, cuando la temperatura cambia, la velocidad del ventilador se ajusta gradualmente para mantener la temperatura al nivel deseado:

- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| R1. IF temperature IS cold | THEN fan_speed IS high |
| R2. IF temperature IS cool | THEN fan_speed IS medium |
| R3. IF temperature IS warm | THEN fan_speed IS low |
| R4. IF temperature IS hot | THEN fan_speed IS zero |

Fusificación.

El dato de temperatura de entrada (**78°F**) hace matching con las funciones de pertenencia:

$$\begin{aligned}\text{cold}(78^\circ\text{F}) &= 0 \\ \text{cool}(78^\circ\text{F}) &= 0 \\ \text{warm}(78^\circ\text{F}) &= 0.6 \\ \text{hot}(78^\circ\text{F}) &= 0.2\end{aligned}$$

Inferencia:

Las reglas son evaluadas.

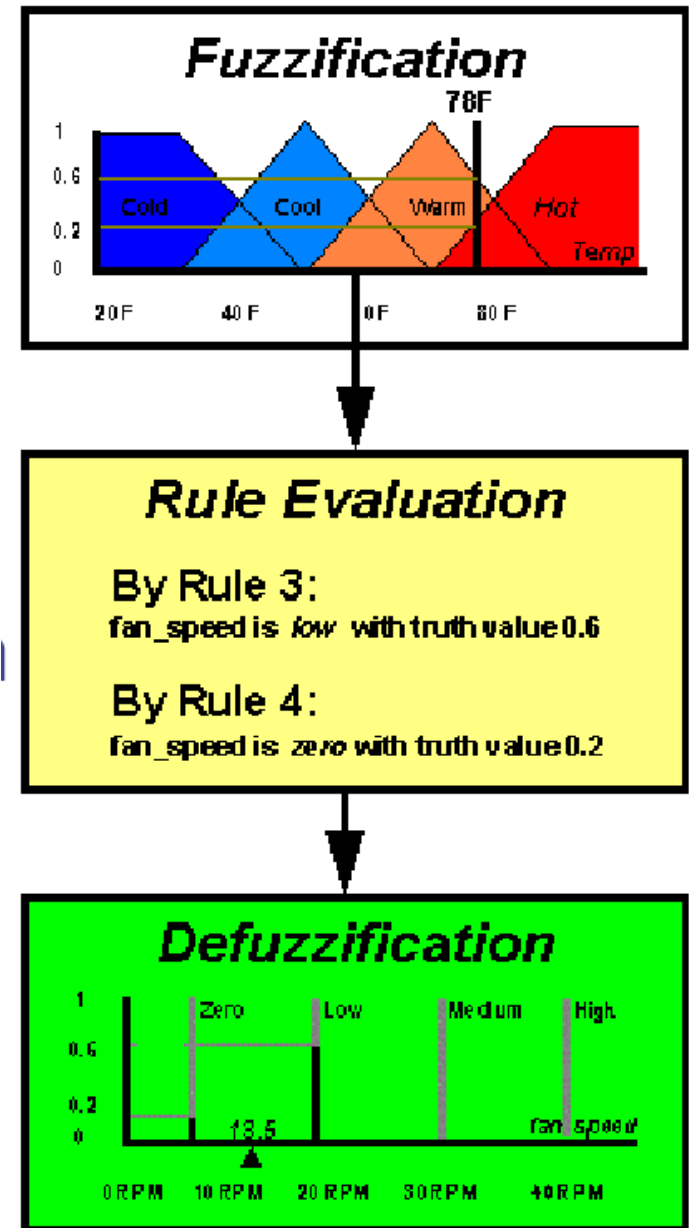
Para **78 °F** solo **2** reglas son activadas.

- **R3**, velocidad low = 60%.
- **R4**, velocidad zero = 20%.

*Asertamos
dos valores a
la variable
difusa!*

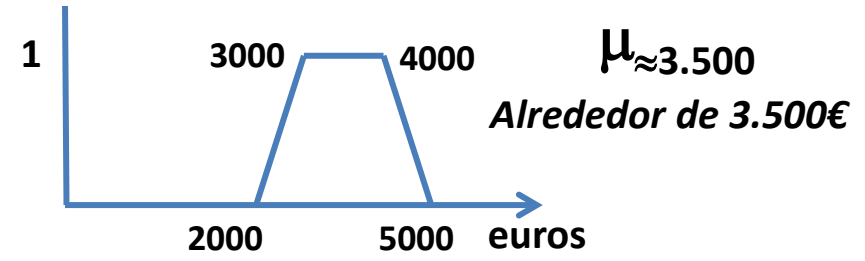
Defusificación:

La ponderación **60%** y el **20%** de los valores “low” y “zero”, respectivamente, son combinados y producen una salida numérica de **13.5 RPM** para la velocidad del calentador.

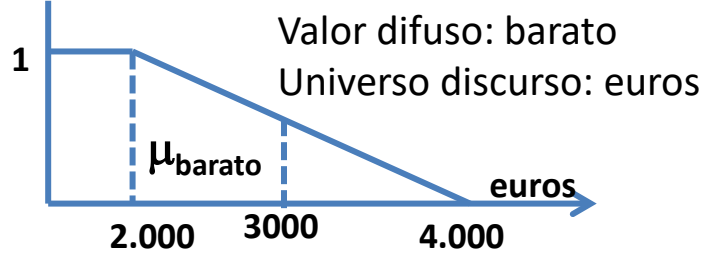


Ejemplo-3: Si el precio de un objeto es barato entonces su tiempo de duración es poco

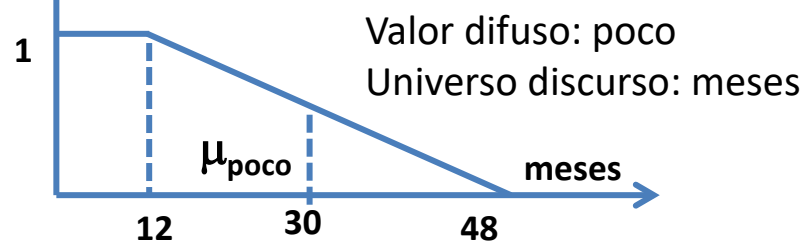
Dato: El objeto cuesta alrededor de 3.500 euros,
¿Qué puedo decir sobre su duración?



Variable: precio



Variable: duración



1) Obtención de $\mu_R(u,v)$

$$\mu_R(u,v) = \min(\mu_A(u), \mu_B(v)), \quad \forall (u,v) \in U \times V$$

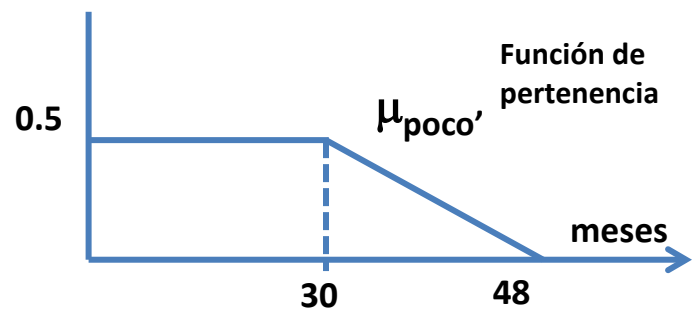
48	0	0	0	0	0
30	0.5	0.5	0.5	0	0
12	1	1	0.5	0	0
0	1	1	0.5	0	0
(v)	0	2000	3000	4000	5000

(u)

Matriz de inferencia composicional

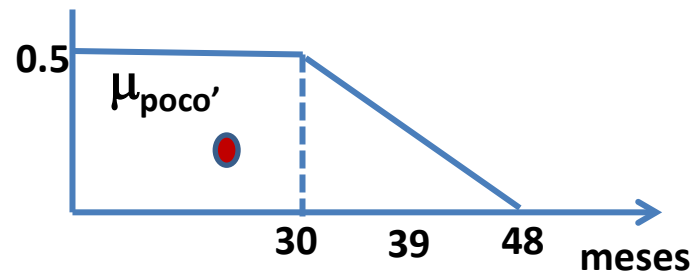
2) Obtención de $\mu_{poco'}(v)$

$$\mu_{B'}(v) = \max(\min(\mu_{A'}(u), \mu_R(u,v)))$$



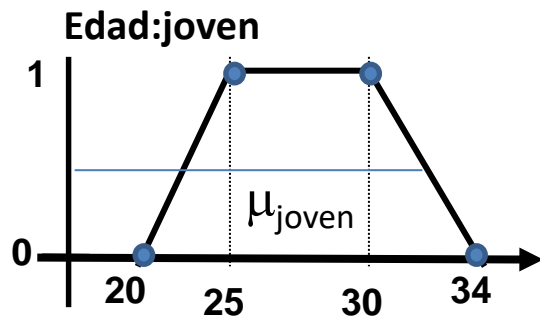
La duración de un objeto que cuesta alrededor de 3.500 euros es:

Si defusificamos, la duración estimada serían:
19.5 meses (maximum), 21.8 (moment)



Una función de pertenencia μ_A induce una distribución de posibilidades:

- a) Posibilidad de que siendo μ_A sea $x=V$: $\mu_A(V)$
- b) Posibilidad de que siendo μ_A sea $x \in C$: $P(C, \mu_A) = \max [\mu_A(x)]_{\forall x \in C}$
- c) Necesidad de que siendo μ_A , sea $x \in C$: $N(C, \mu_A) = 1 - P(\neg C, \mu_A) = 1 - \max[\mu_A(x)]_{\forall x \notin C}$

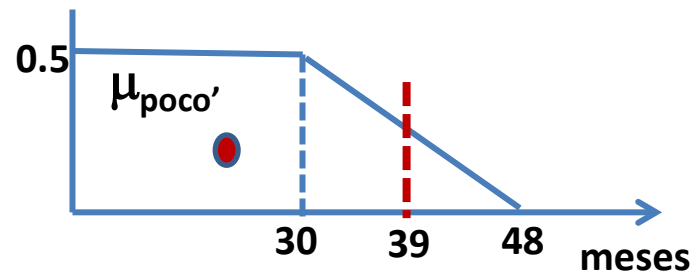


- a) Posibilidad de que siendo joven, tenga más de 25 años: $\mu_{\text{joven}}(25) = 1$
- b) Posibilidad de que siendo joven, tenga más de 32 años: $\mu_{\text{joven}}(32) = 0.5$
- c) Necesidad de que siendo joven, tenga más de 32 años:

$$N(x > 32, \mu_{\text{joven}}) = 1 - P(x \leq 32, \mu_{\text{joven}}) = 1 - \max[\mu_{\text{joven}}(x)]_{x \leq 32} = 1 - 1 = 0$$

La duración de un objeto que cuesta alrededor de 3.500 euros es:

Si defusificamos, la duración estimada serían:
19.5 meses (maximum), 21.8 (moment)



Una función de pertenencia μ_A induce una distribución de posibilidades:

a) Posibilidad de que siendo μ_A sea $x=V$: $\mu_A(V)$

b) Posibilidad de que siendo μ_A sea $x \in C$: $P(C, \mu_A) = \max [\mu_A(x)]_{\forall x \in C}$

c) Necesidad de que siendo μ_A , sea $x \in C$: $N(C, \mu_A) = 1 - P(\neg C, \mu_A) = 1 - \max[\mu_A(x)]_{\forall x \notin C}$

a) Posibilidad de que un objeto de 'alrededor de 3.500' euros dure '39 meses': $\mu_{poco'}(39) = 0.25$

b) Posibilidad de que un objeto de 'alrededor de 3.500 euros' dure 'más de 39 meses':

$$P(x > 39, \mu_{poco'}) = \max [\mu_{poco'}(x)]_{x > 39} = 0.25$$

c) Necesidad de que un objeto de 'alrededor de 3.500' euros dure 'más de 39 meses':

$$N(x > 39, \mu_{poco'}) = 1 - P(x \leq 39, \mu_{poco'}) = 1 - \max[\mu_{poco'}(x)]_{x \leq 39} = 1 - 0.5 = 0.5$$

La regla A (precio=barato) \rightarrow B (duración=poco) solo vale para inferir la 'poca-duración' de un objeto, en la medida de 'lo barato' que es. Pero:

* *Cuanto más vale, no se sabe que dure más.* * *Cuando menos vale, no se sabe que dure menos.*

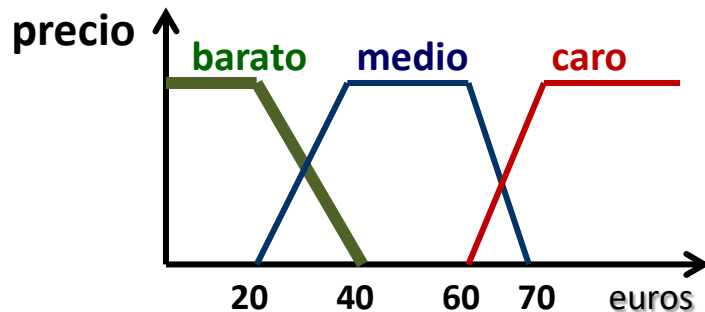
Simplemente, en la medida que sea 'de precio barato', inferiremos sobre su poca-duración.

Implementación en Fuzzy-Clips

Declaración de los conjuntos difusos:

```
(deftemplate precio ;Variable difusa
  0 100 euros ;Universo
  ( (barato (20 1) (40 0)) ;Valores difusos
    (medio (20 0) (40 1) (60 1) (70 0))
    (alrededor-treinta (25 0) (30 1) (35 0))
    (caro (60 0) (70 1))
    (veinte-cinco (25 0) (25 1) (25 0))
    (treinta (30 0) (30 1) (30 0))
    (treinta-cinco (35 0) (35 1) (35 0))))
```

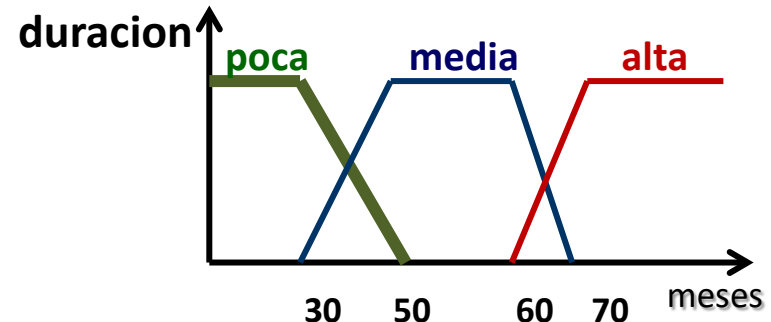
```
(deftemplate duracion ;Variable difusa
  0 100 meses ;Universo
  ( (poca (30 1) (50 0)) ;Valores difusos
    (media (30 0) (50 1) (60 1) (70 0))
    (alta (60 0) (70 1))))
```



Reglas:

```
(defrule estimacion
  (precio barato)
=>
  (assert (duracion poca)))
```

```
(defrule defuzzificar
  (declare (salience -1))
  (duracion ?dur)
=>
  (printout t "Se estima que va a durar "
    (maximum-defuzzify ?dur) " meses" crlf))
```



(assert (precio barato))

(run)

Se estima que va a durar 15 (20.4) meses

(assert (precio alrededor-treinta))

(run)

Se estima que va a durar 19 (22.1) meses

(assert (precio medio))

(run)

Se estima que va a durar 20 (22.6) meses

(assert (precio caro))

(run) *no matching*

(*) entre paréntesis, defuzzificando con moment-defuzzify

Nota: Si se aserta que el precio es 'barato' o 'medio' el sistema infiere la máxima información sobre 'duracion=poca':

(assert (precio barato))

(assert (precio medio)) >> (precio [barato OR medio])

(run)

Se estima que va a durar 15 (20.4) meses

Es la máxima pertenencia inferible al conjunto 'duración=poca', ya que es la premisa de la única regla.

(assert (precio treinta))

(run)

Se estima que va a durar 20 (22.6) meses

(assert (precio treinta-cinco))

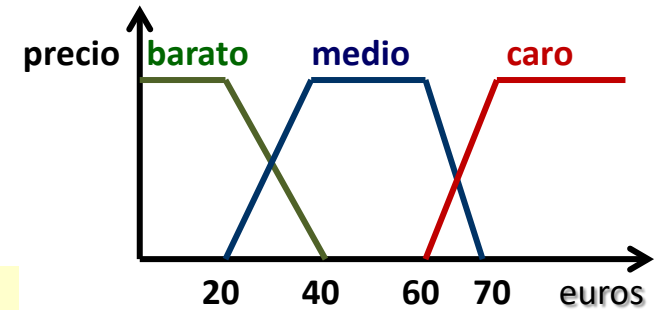
(run)

Se estima que va a durar 22.5 (23.8) meses

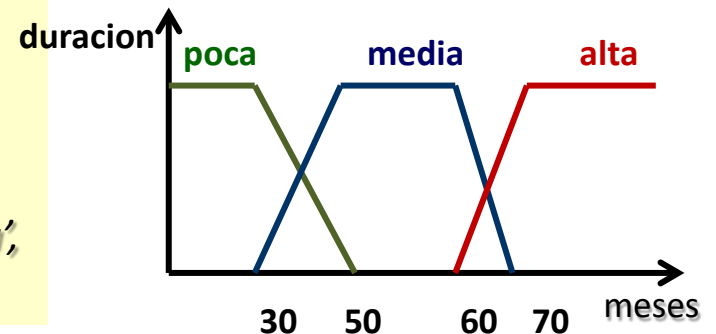
(assert (precio veinte-cinco))

(run)

Se estima que va a durar 17.5 (21.45) meses



(precio barato) => (duracion poca)



Ahora, supongamos las reglas:

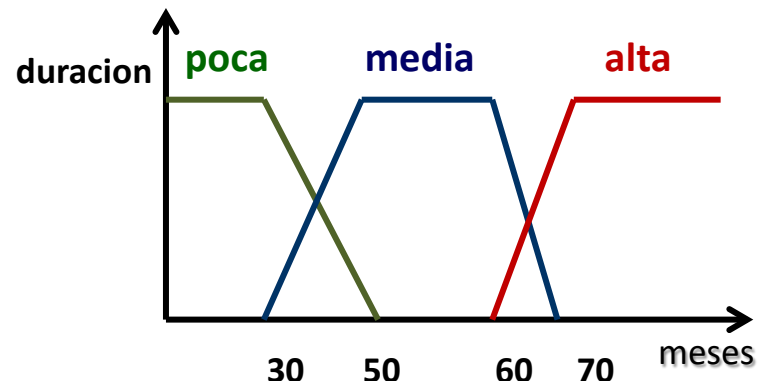
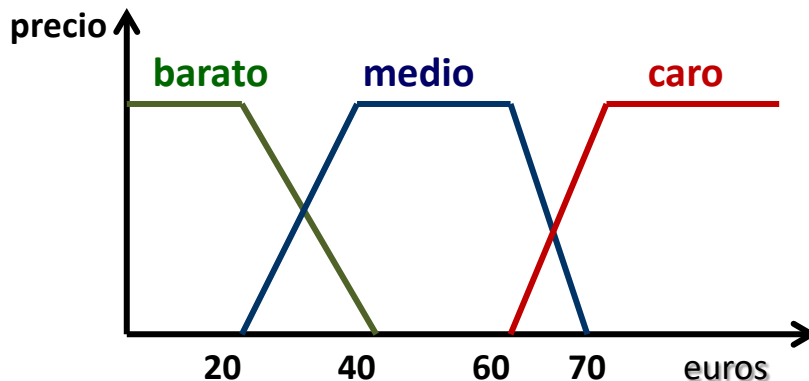
(defrule estimacion-barata
 (declare (salience 100))
 (precio barato)
 => (assert (duracion poca)))

(defrule estimacion-medio
 (declare (salience 100))
 (precio medio)
 => (assert (duracion media)))

(defrule estimacion-carro
 (declare (salience 100))
 (precio caro)
 => (assert (duracion alta)))

PRECIO	DURACION (ahora)	DURACION (antes)
(assert (precio barato))	15	15
(assert (precio alrededor-treinta))	19	19
(assert (precio medio))	55	20
(assert (precio caro))	85	-
(assert (precio treinta))	32.5	20
(assert (precio treinta-cinco))	53.75	22.5
(assert (precio veinte-cinco))	35.63	17.5
(assert (precio barato)) (assert (precio medio))	35	15

Un dato puede hacer matching con más de una regla



En el razonamiento difuso, nueva información o nuevas inferencias se **añaden** (no reemplazan) a los valores previos de las variables difusas:

```
FuzzyCLIPS> (reset)
FuzzyCLIPS> (assert (precio alrededor-treinta))
<Fact-1>
FuzzyCLIPS> (assert (precio very caro))
<Fact-2>
FuzzyCLIPS> (assert (precio more-or-less barato))
<Fact-3>
FuzzyCLIPS> (assert (precio somewhat medio))
<Fact-4>
FuzzyCLIPS> (fuzzify precio 35 0.5)
<Fact-5>
_ _ _ _ _
```

Facts (MAIN)

```
f-0      (initial-fact) CF 1.00
f-5      (precio ???) CF 1.00
( (20.0 1.0) (22.0 0.9655) (24.0 0.9283) (26.0 0.8879) (28.0 0.8434)
  (29.00 0.8165) (30.0 1.0) (31.2 0.7595) (31.39 0.7541) (32.0 0.7746)
  (34.0 0.8367) (34.93 0.8636) (35.0 1.0) (35.07 0.8675) (36.0 0.8944)
  (38.0 0.9487) (40.0 1.0) (60.0 1.0) (61.0 0.9487) )PpT
```

```
FuzzyCLIPS> (run)
```

Se estima que va a durar 51.666666666666666 meses

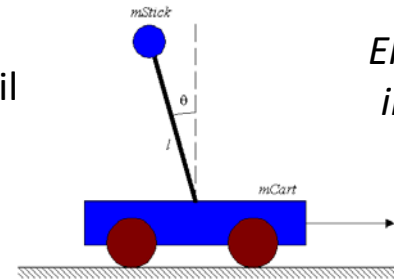
*Defusificar al final del
razonamiento*

Facts (MAIN)

```
f-0      (initial-fact) CF 1.00
f-5      (precio ???) CF 1.00
f-9      (duracion [ [ [ poca ] OR [ media ] ] OR [ alta ] ] OR [ poca ]) CF 1.00
( (30.0 1.0) (40.0 0.5) (50.0 1.0) (60.0 1.0) (65.0 0.5) (32.0 0.7746)
  (70.0 1.0) ) (34.93 0.8636) (35.0 1.0) (35.07 0.8675) (36.0 0.8944)
  (38.0 0.9487) (40.0 1.0) (60.0 1.0) (61.0 0.9487) )PpT
```

Ejemplo-4: Péndulo Invertido

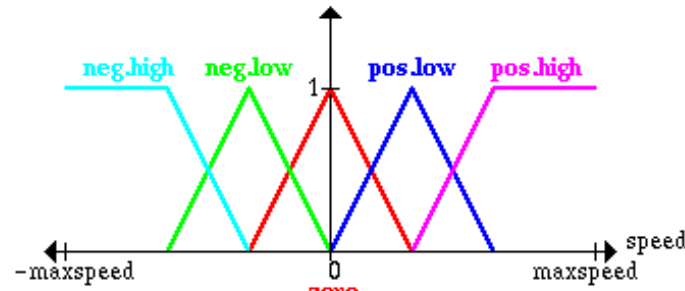
El problema es balancear un poste en una plataforma móvil que puede moverse en solamente dos direcciones, a la izquierda o a la derecha.



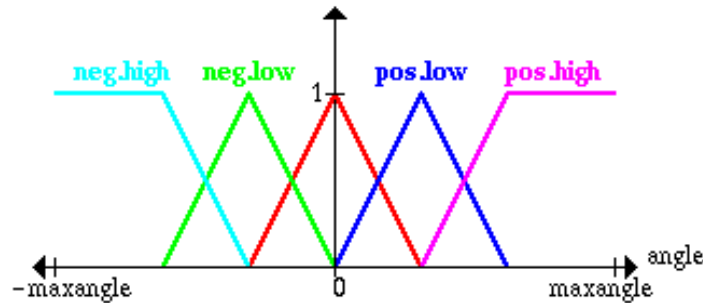
El control de un péndulo invertido fue una de las primeras aplicaciones relevantes de la inferencia difusa.

Valores Difusos:

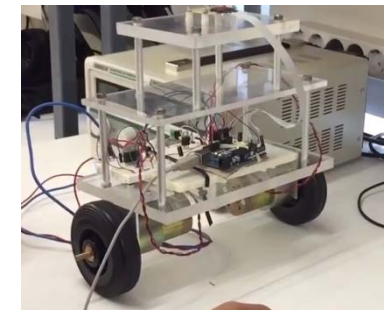
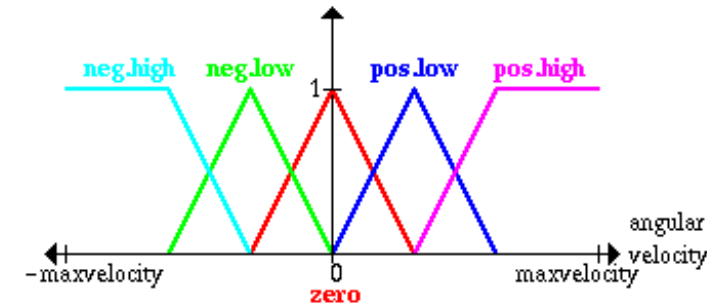
Velocidad de la plataforma (speed):



Angulo del poste:



Velocidad angular del poste:



Self balancing robot with fuzzy logic

Reglas:



Ángulo / Velocidad	NH	NL	Z	PL	PH
NH	NH	NH	NH	NH	PH
NL	NH	NL	NL	Z	PH
Z	NH	NL	Z	PL	PH
PL	NH	Z	PL	PL	PH
PH	NH	NL	PH	PH	PH

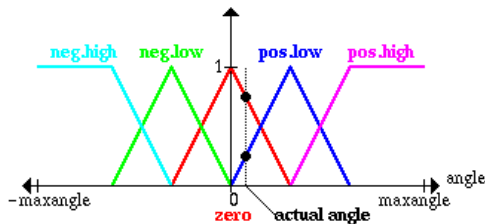
NH Negative High
NL Negative Low
PL Positive Low
HL Positive High

Ejemplos:

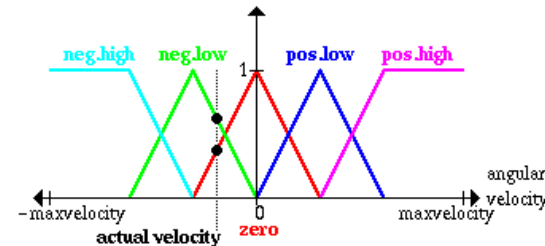
R1: If angle is zero **and** angular-velocity is zero **then** speed shall be zero

R2: If angle is zero **and** angular-velocity is pos-low **then** speed shall be pos-low

Consideremos un caso concreto



El ángulo es muy poco positivo: $A=Z$, $A=PL$



La velocidad es muy poco negativa: $V=Z$, $V=PL$

VIDEO

VIDEO

VIDEO

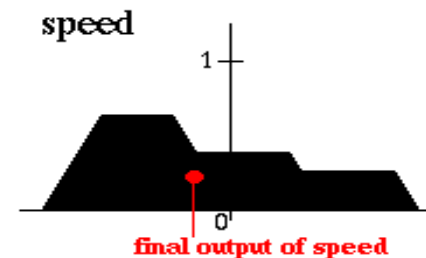
Podemos aplicar varias reglas, y combinando las conclusiones, obtenemos la velocidad de la plataforma:

Angle=Z, Velocity=Z → Speed=Z,

Angle=Z, Velocity=PL → Speed=PL,

Angle=PL, Velocity=Z → Speed=PL,

Angle=PL, Velocity=PL → Speed=PL



Características de la Inferencia Difusa

➤ La pertenencia de un dato a más de un conjunto difuso (valor de variable difusa) es posible: no es contradictorio como en lógica clásica, monovaluada. Nuevos hechos difusos se acumulan a los conocidos.

➤ Una inferencia difusa no proporciona nunca conclusiones más precisas que B.

- Dado un hecho (X es A') y una regla difusa (*Si X es A , entonces $Y=B$*), podemos deducir información acerca de Y .
- Si A' es ligeramente diferente de A , entonces obtendremos X es B' , siendo B' ligeramente diferente a B .
- Nunca podremos obtener algo más preciso de X es B' .

➤ Es útil aún cuando A' difiere ligeramente de A (contrariamente al Modus Ponens Clásico).

El resultado de la inferencia se ve afectado por un nivel de indeterminación. Si A' es sensiblemente distinto de A , el MPG puede no ser suficiente para concluir un B' que nos aporte información fiable (se busca B).

➤ A veces es necesaria mayor información sobre la relación causal entre X e Y alrededor de los conceptos A , B .

Por ejemplo, a partir de la regla *"si el tomate es rojo entonces está maduro"* y del hecho *"el tomate es muy rojo"*,

el MPG no permite concluir *"el tomate está muy maduro"*,
a menos que se explicita que el grado de madurez aumenta con la intensidad del color rojo.

Aplicaciones Razonamiento Difuso:

Un sistema informático es difuso cuando su funcionamiento se basa, al menos en parte, en la lógica difusa.

- Estabilizadores imágenes en cámaras fotográficas, acondicionamiento aire, control temperatura, etc.
- Control de horno de cemento (Dinamarca).
- Control de horno de fundición (NKK Fukoyama)
- Acondicionador de aire doméstico (Mitsubishi)
- Lavadora (Viessmann, Fagor).
- Cámara autofocus (Canon)
- Fotocopiadora (Sanyo).
- Control de spam (Mozilla).
- Expert for *stock exchange activities* (Yamaichi, Hitachi)
- Cruise-control for *automobiles* (Nissan, Subaru)
- Back light control for *camcorders* (Sanyo)
- Recognition of handwritten symbols with *pocket computers* (Sony)
- Reconocedor de habla (NTT Japón)
- Sistema experto en medicina (Univ. De California)
- Control de robot autónomo (SRF, USA).

Existe cierta discusión sobre si el razonamiento bayesiano extendido es capaz de captar y razonar con información imprecisa

Entornos y Aplicaciones

- **FuzzyClips (desarrollado por National Research Council, Canadá)**
- European Centre for Soft Computing (<http://www.softcomputing.es/>)
- Repository for Fuzzy Logic (<http://www.fuzzytech.com/>)
- Fuzzy Logic Toolbox (<https://es.mathworks.com/products/fuzzy-logic.html>)

- No siempre se dispone de conocimiento totalmente preciso:
 - La información (hechos) de partida es imprecisa: hace mucho frío, es bastante bajo, tarda aproximadamente 10 minutos, está poco maduro, etc.
 - Las reglas tampoco son totalmente precisas (además de probablemente inciertas)
- Hay que trabajar con lógica difusa (tipos, variables y reglas difusas) e inferir nueva información sobre ella. Esto implica los siguientes pasos:
 - Fusificación: mapping a dominio difuso
 - Inferencia difusa: aplicación de reglas y razonamiento
 - Defusificación: mapping a dominio real para su aplicación
- La lógica difusa ayuda a tomar decisiones de forma similar a como lo hacen los humanos, donde no todo es conocido al 100%
 - Aplicación en multitud de sistemas que implican algún tipo de sistema de control: sensores, lavadoras, cámaras digitales, robots de limpieza, etc.

Ejercicio. Control termostato difuso

Implementar el controlador difuso de un ventilador, tal que controle la velocidad de un ventilador a partir de la temperatura y humedad de la habitación.



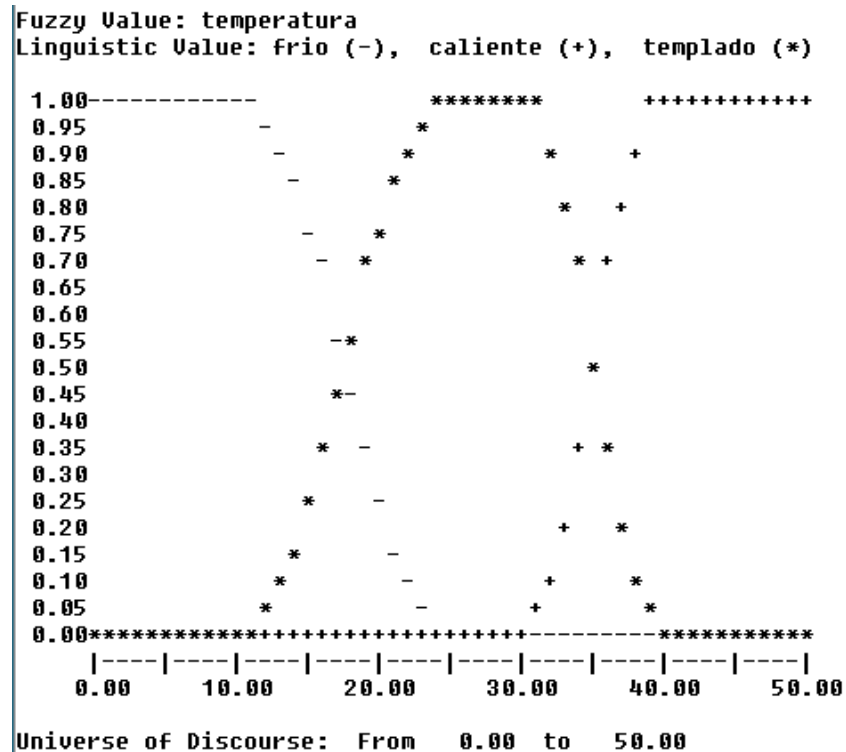
La tabla para determinar la **velocidad** en función de la temperatura y la humedad es:

Temperatura/Humedad	seco	húmedo	mojado
frío	medio	alto	alto
templado	bajo	medio	alto
caliente	medio	alto	alto

- Definir adecuadamente las variables difusas: **temperatura, humedad, y velocidad**.
- Mediante un razonamiento difuso, obtener valores de velocidad para diferentes escenarios en la habitación.
- Finalmente, defisificar el valor de la velocidad para obtener el valor críps correspondiente.

Temperatura/Humedad	seco	húmedo	mojado
frío	medio	alto	alto
templado	bajo	medio	alto
caliente	medio	alto	alto

Variables Difusas: temperatura, humedad, y velocidad

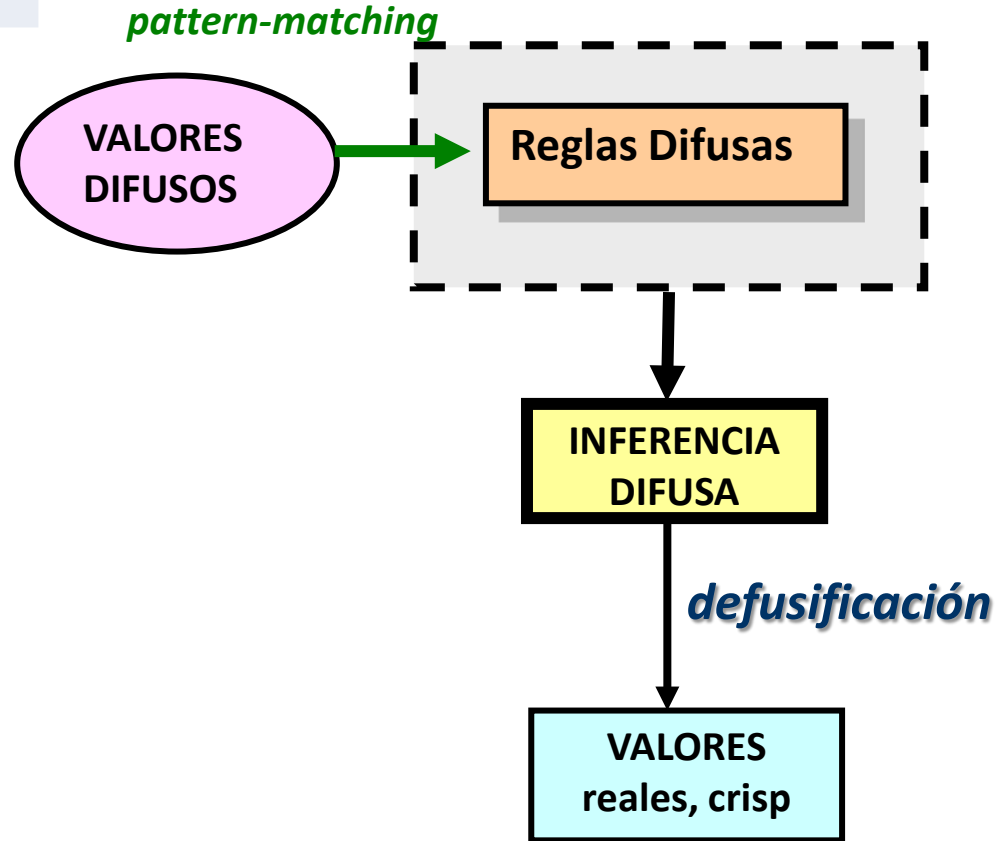


Temperatura/Humedad	seco	húmedo	mojado
frío	medio	alto	alto
templado	bajo	medio	alto
caliente	medio	alto	alto

REGLAS

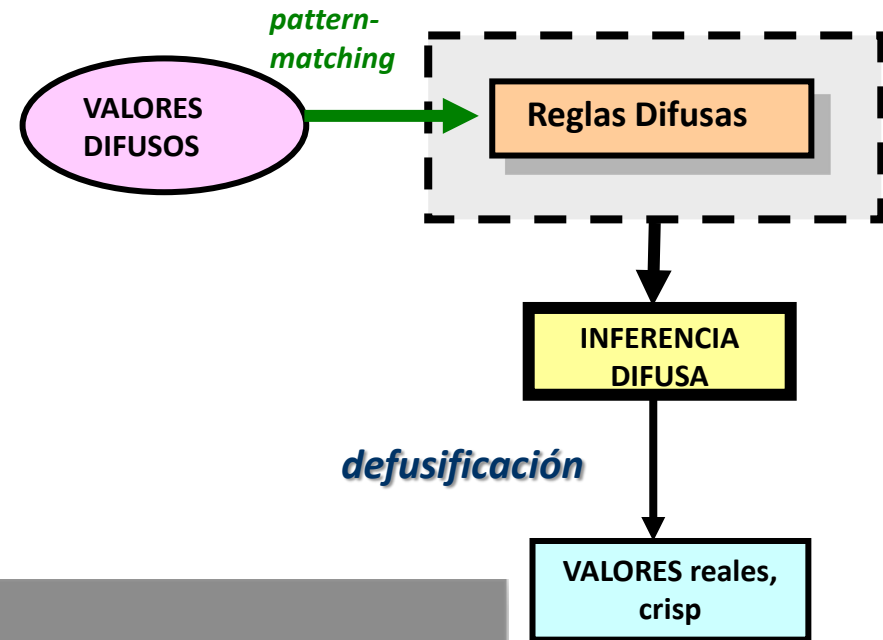
Temperatura/Humedad	seco	húmedo	mojado
frío	medio	alto	alto
templado	bajo	medio	alto
caliente	medio	alto	alto

DEFUSIFICACIÓN



En Resumen

Temperatura/Humedad	seco	húmedo	mojado
frío	medio	alto	alto
templado	bajo	medio	alto
caliente	medio	alto	alto



EJECUCIÓN

- (assert (temperatura frio))
- (assert (humedad mojado))

```

Facts (MAIN)
0      (initial-fact) CF 1.00
1      (temperatura frio) CF 1.00
2      (humedad mojado) CF 1.00 .75 0.875) (15.63 0.7188) (17.5 0.5)
( (70.0 0.0) (73.75 0.03125) (77.5 0.125) (81.25 0.2813) (85.0 0.5)
  (88.75 0.7188) (92.5 0.875) (96.25 0.9688) (100.0 1.0) )

```

- (run)

```

Facts (MAIN)
0      (initial-fact) CF 1.00
1      (temperatura frio) CF 1.00
2      (humedad mojado) CF 1.00 .75 0.875) (15.63 0.7188) (17.5 0.5)
6      (velocidad ???) CF 1.00 77.5 0.125) (81.25 0.2813) (85.0 0.5)
7      (crisp velocidad-moment-rpm 58.7421875) CF 1.00 (15.0 0.5)
8      (crisp velocidad-maximum-rpm 100.0) CF 1.00 9688) (100.0 1.0) )

```