

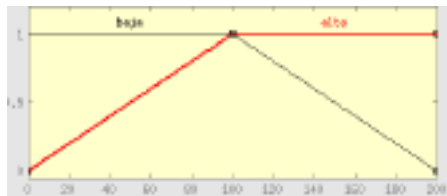
# Ejercicios 9: Lógica borrosa

Departamento de Informática / Department of Computer Science  
Universidad Carlos III de Madrid

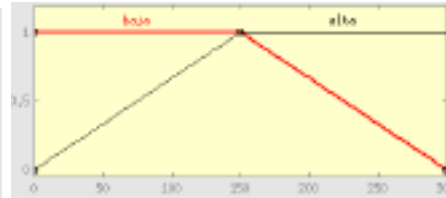
**Inteligencia Artificial**  
Grado en Ingeniería Informática  
2019/20

# Ejercicio 1: Cámara fotográfica

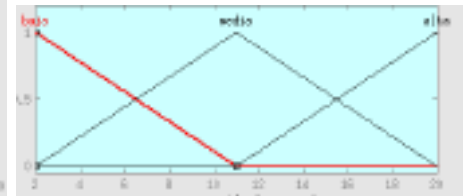
Una cámara de fotos cuenta con un controlador borroso para regular la apertura del diafragma a partir de la luminosidad que capta el sensor y de la velocidad estimada del motivo a fotografiar. La luminosidad se mide en una escala de 0 a 200 lumens, mientras que la velocidad del motivo se estima en unidades de flujo óptico que varían entre 0 y 300. La apertura se regula en unidades 'f' y varía entre 2 y 20 para el objetivo con el que cuenta la cámara. Estas variables se borrosifican utilizando los conjuntos definidos en la figura que se acompaña.



(a) Luminosidad



(b) Velocidad



(c) Apertura

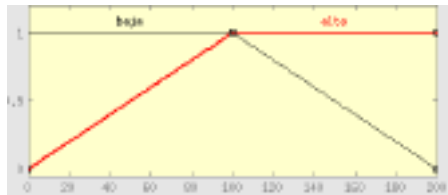
# Ejercicio 1: Cámara fotográfica

Las reglas del sistema de inferencia borroso son las siguientes:

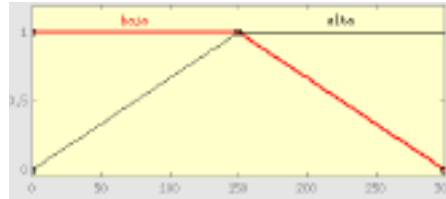
- ▶ Si la luminosidad es baja y la velocidad del motivo es baja, entonces la apertura es media.
- ▶ Si la luminosidad es baja y la velocidad del motivo es alta, entonces la apertura es alta.
- ▶ Si la luminosidad es alta y la velocidad del motivo es baja, entonces la apertura es baja.
- ▶ Si la luminosidad es alta y la velocidad del motivo es alta, entonces la apertura es media.

Calcule la apertura del diafragma para un valor de luminosidad de 100 lumens y una velocidad de 300 unidades de flujo óptico. Utilice inferencia max-min y defuzzificación mediante el método del centroide.

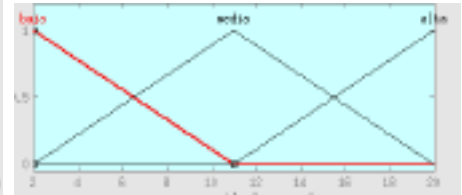
# Cámara: borrosificación)



(a) Luminosidad

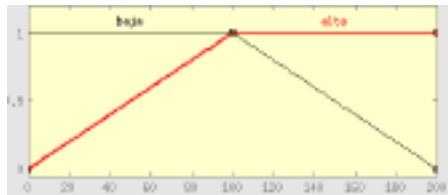


(b) Velocidad

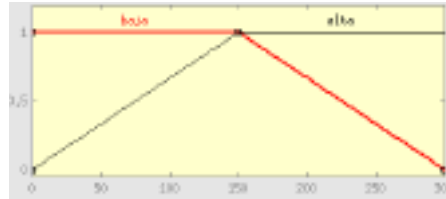


(c) Apertura

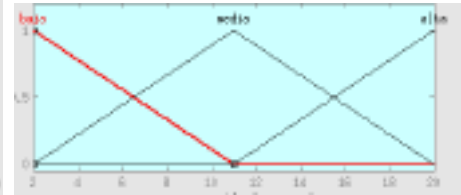
# Cámara: borrosificación)



(a) Luminosidad



(b) Velocidad



(c) Apertura

$$S(\text{InputL}, L_{\text{baja}}) = 1$$

$$S(\text{InputL}, L_{\text{alta}}) = 1$$

$$S(\text{InputV}, V_{\text{alta}}) = 1$$

$$S(\text{InputV}, V_{\text{baja}}) = 0$$

- Si  $L_{baja}$  Y  $V_{baja}$  ENTONCES  $A_{media}$



$$S = \min[S(\text{Input}L, L_{baja}), S(\text{Input}V, V_{baja})] = 0$$

- Si  $L_{baja}$  Y  $V_{baja}$  ENTONCES  $A_{media}$



$$S = \min[S(\text{Input}L, L_{baja}), S(\text{Input}V, V_{baja})] = 0$$

- Si  $L_{baja}$  Y  $V_{alta}$  ENTONCES  $A_{alta}$



$$S = \min[S(\text{Input}L, L_{baja}), S(\text{Input}V, V_{alta})] = 1$$

- Si  $L_{baja}$  Y  $V_{baja}$  ENTONCES  $A_{media}$



$$S = \min[S(\text{Input}L, L_{baja}), S(\text{Input}V, V_{baja})] = 0$$

- Si  $L_{baja}$  Y  $V_{alta}$  ENTONCES  $A_{alta}$



$$S = \min[S(\text{Input}L, L_{baja}), S(\text{Input}V, V_{alta})] = 1$$

- Si  $L_{alta}$  Y  $V_{baja}$  ENTONCES  $A_{baja}$



$$S = \min[S(\text{Input}, L_{alta}), S(\text{Input}, V_{baja})] = 0$$



- Si  $L_{baja}$  Y  $V_{baja}$  ENTONCES  $A_{media}$



$$S = \min[S(\text{Input}L, L_{baja}), S(\text{Input}V, V_{baja})] = 0$$

- Si  $L_{baja}$  Y  $V_{alta}$  ENTONCES  $A_{alta}$



$$S = \min[S(\text{Input}L, L_{baja}), S(\text{Input}V, V_{alta})] = 1$$

- Si  $L_{alta}$  Y  $V_{baja}$  ENTONCES  $A_{baja}$



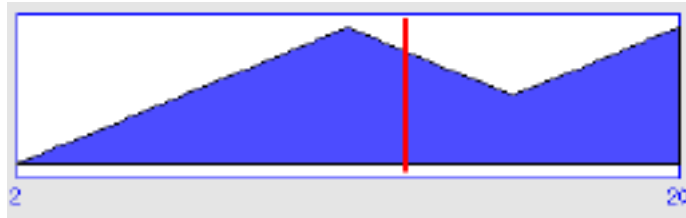
$$S = \min[S(\text{Input}, L_{alta}), S(\text{Input}, V_{baja})] = 0$$

- Si  $L_{alta}$  Y  $V_{alta}$  ENTONCES  $A_{media}$

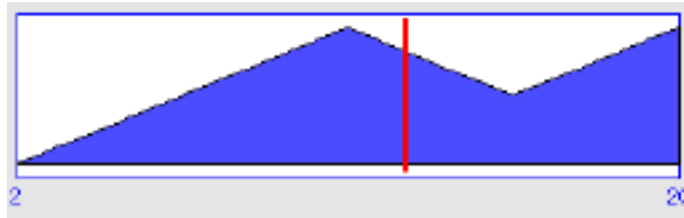


$$S = \min[S(\text{Input}, L_{alta}), S(\text{Input}, V_{alta})] = 1$$

- El resultado es la UNIÓN (OR) de los resultados de las reglas.



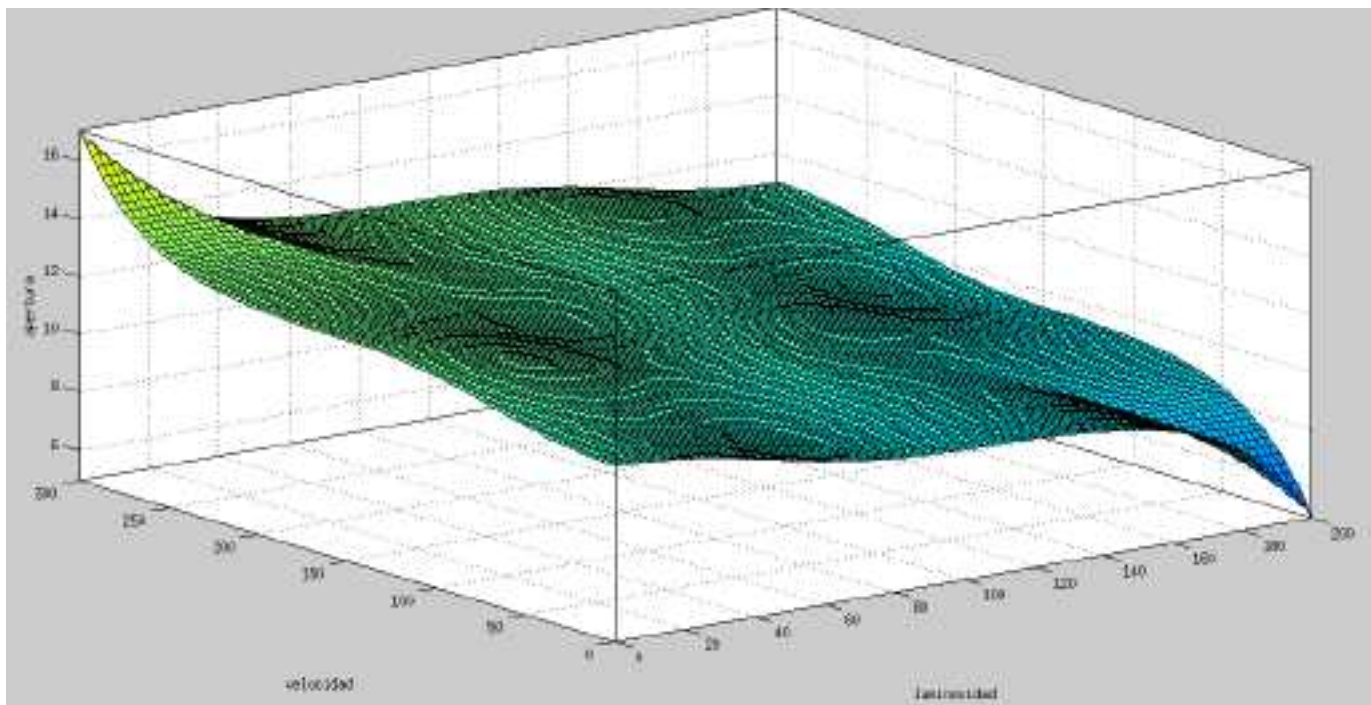
- El resultado es la UNIÓN (OR) de los resultados de las reglas.



- El centro de masas del conjunto resultado se encuentra aproximadamente en 12.6.

# Cámara: función de transferencia

- Se puede expresar la salida (defuzzificada) en función de la entrada de forma gráfica. Esto permite ver “superficies de control” más o menos abruptas.

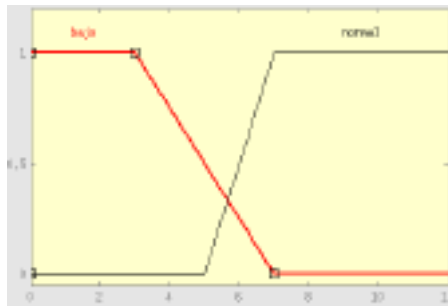


## Ejercicio 2: Control de turbina

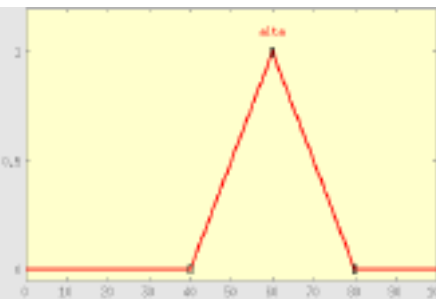
Un experto en el control de una turbina nos proporciona las siguientes reglas sobre su manejo:

- Si el nivel de ruido es normal y la temperatura es alta, entonces establece una velocidad suave.
- Si el nivel de ruido es normal y la temperatura no es alta, entonces establece una velocidad moderada.
- Si el nivel de ruido es bajo, entonces establece una velocidad alta.

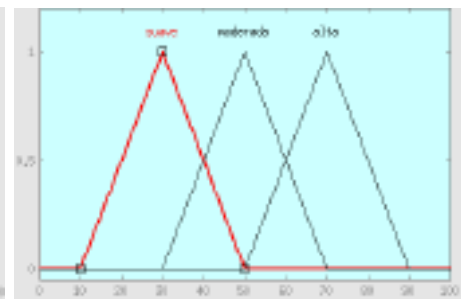
Las variables se han borrosificado utilizando los conjuntos borrosos que se acompañan en la figura y las reglas se han codificado en un controlador. Calcule la salida de ese controlador para una medida de temperatura de 20 grados y un nivel de ruido de 5db.



(a) Ruido

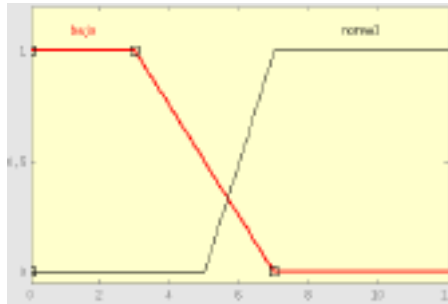


(b) Temperatura

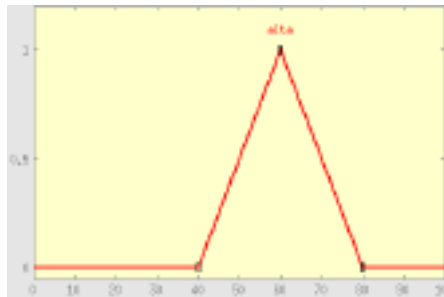


(c) Velocidad

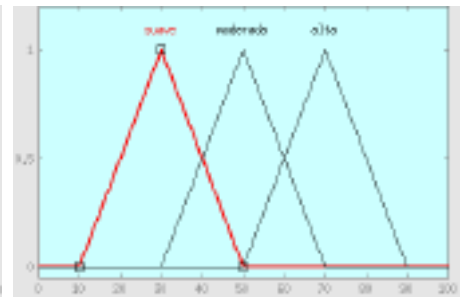
# Turbina: borrosificación



(a) Ruido

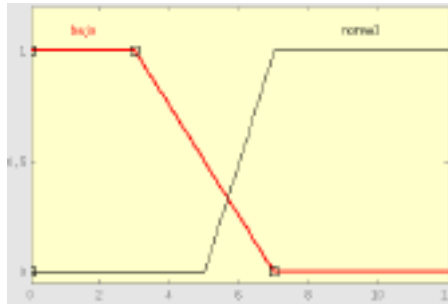


(b) Temperatura

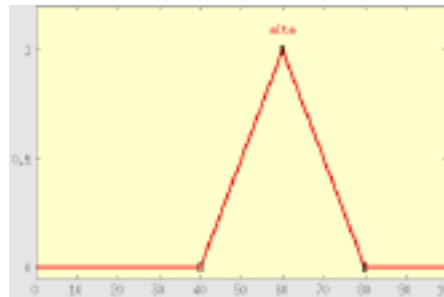


(c) Velocidad

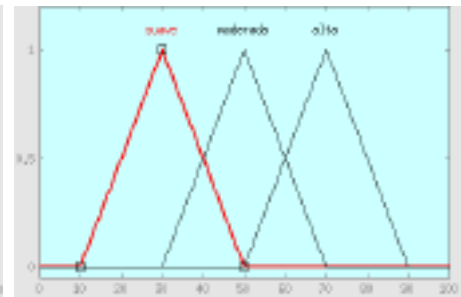
# Turbina: borrosificación



(a) Ruido



(b) Temperatura



(c) Velocidad

$$S(InputR, R_{bajo}) = 0.5$$

$$S(InputR, R_{normal}) = 0$$

$$S(InputT, T_{alta}) = 0$$

$$S(InputT, T_{NOT\ alta}) = 1 - S(InputT, T_{alta}) = 1$$

# Turbina: inferencia

- Si  $R_{normal}$  Y  $T_{alta}$  ENTONCES  $V_{suave}$



$$S = \min[S(\text{Input}R, R_{normal}), S(\text{Input}T, T_{alta})] = 0$$



# Turbina: inferencia

- Si  $R_{normal}$  Y  $T_{alta}$  ENTONCES  $V_{suave}$



$$S = \min[S(\text{Input}R, R_{normal}), S(\text{Input}T, T_{alta})] = 0$$

- Si  $R_{normal}$  Y  $T_{NOT\ alta}$  ENTONCES  $V_{moderada}$



$$S = \min[S(\text{Input}R, R_{normal}), S(\text{Input}T, T_{NOT\ alta})] = 0$$

# Turbina: inferencia

- Si  $R_{normal}$  Y  $T_{alta}$  ENTONCES  $V_{suave}$



$$S = \min[S(\text{Input}R, R_{normal}), S(\text{Input}T, T_{alta})] = 0$$

- Si  $R_{normal}$  Y  $T_{NOT\ alta}$  ENTONCES  $V_{moderada}$



$$S = \min[S(\text{Input}R, R_{normal}), S(\text{Input}T, T_{NOT\ alta})] = 0$$

- Si  $R_{bajo}$  ENTONCES  $V_{alta}$

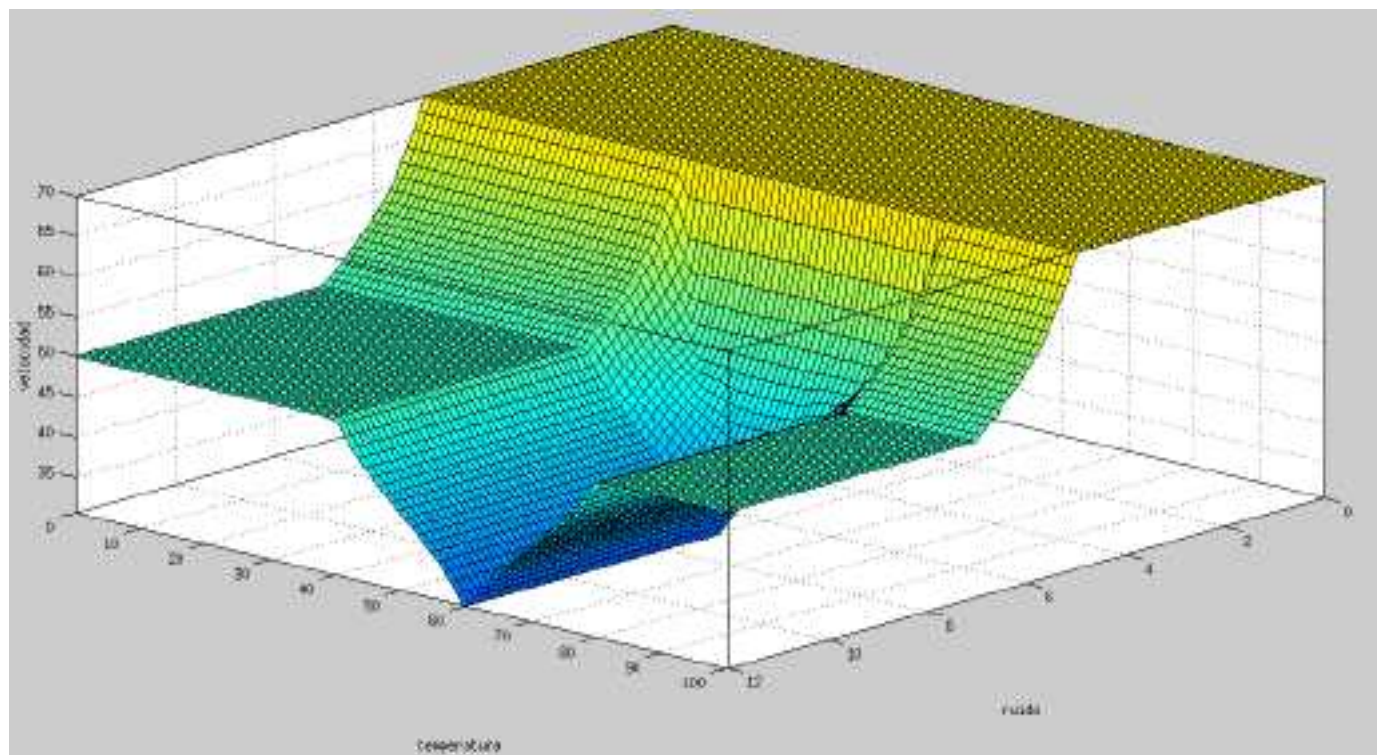


$$S = S(\text{Input}R, R_{bajo}) = 0.5$$

- El centro de masas del conjunto resultado se encuentra aproximadamente en 70.



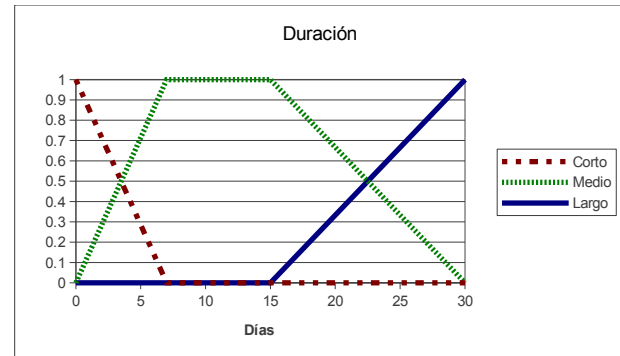
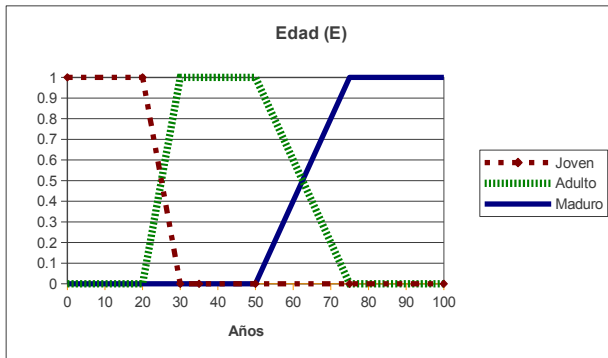
# Función de transferencia



## Ejercicio 3: Sistema de recomendación

Un agente web va a generar una lista de viajes para un cliente. El sistema obtiene un nivel de recomendación que depende de las características del viaje y preferencias del cliente. Todas las variables se representan internamente en lógica borrosa, ya que finalmente nos basta con saber ordenar los viajes por valor de recomendación.

Para tratar la borrosificación y deborrosificación se usan las variables y conjuntos borrosos definidos en las figuras.



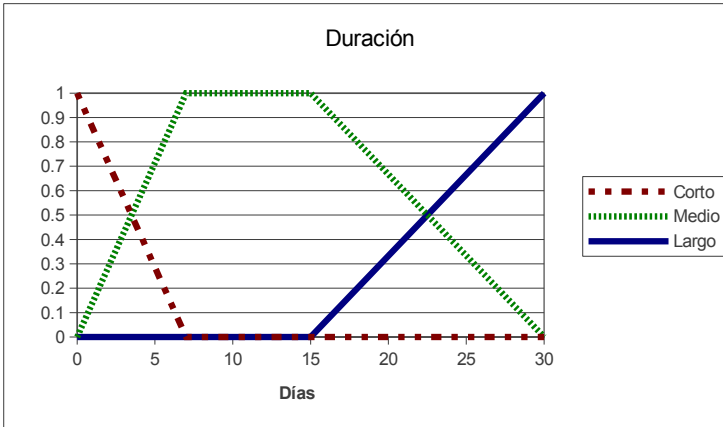
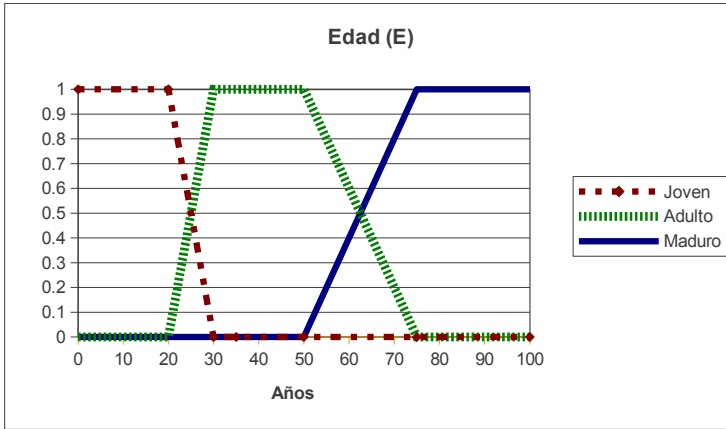
## Ejercicio 3: Sistema de recomendación

El experto ha decidido que se deben usar las siguientes reglas, donde la edad se define con tres términos (joven-adulto-maduro en orden creciente) y la duración del viaje con otros tres (corto-medio-largo).

- R1: SI el cliente es Joven OR el viaje es de duración Media,  
ENTONCES la recomendación es Recomendado
- R2: SI el cliente es Maduro AND el viaje es Largo,  
ENTONCES la recomendación es Desaconsejado
- R3: SI el cliente es Adulto AND el viaje es Corto OR Largo,  
ENTONCES la recomendación es Desaconsejado

1. Realizar la inferencia de tipo Mamdani para una consulta de un usuario que tiene 40 años de edad y pide un viaje de 20 días de duración.
2. Suponga que se muestran al usuario solamente viajes cuyo valor de recomendación, deborrosificado, excede 50. ¿Este viaje se le mostraría?

## Recomendador: Borrosificación



Consultando las figuras, obtenemos los valores de entrada siguientes:

- ▶ Para Edad=40 años, vemos que  $\mu_{Joven}(40) = \mu_{Maduro}(40) = 0.0$ , y  $\mu_{Adulto}(40) = 1.0$
- ▶ Para Viaje=20 días, vemos que  $\mu_{Corto}(20) = 0.0$ ,  $\mu_{Medio}(20) = 0.7$  y  $\mu_{Largo}(20) = 0.3$

# Recomendador: Reglas

Aplicamos cada una de las reglas con los niveles de similitud que proceden de la borrosificación, y combinamos los valores usando el mínimo para el AND, y el máximo para el OR.

---

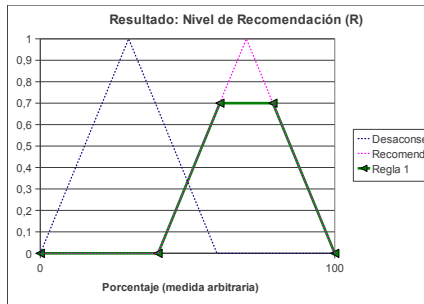
R1: SI el cliente es Joven OR el viaje es de duración Media,  
 $\mu_{Joven}(40) = 0$  **MAX**  $\mu_{Media}(20) = 0.7$

---

→ la recomendación es

Recomendado  
 $S = \text{MAX}(0.0, 0.7) = 0.7$

---





# Recomendador: Reglas

Aplicamos cada una de las reglas con los niveles de similitud que proceden de la borrosificación, y combinamos los valores usando el mínimo para el AND, y el máximo para el OR.

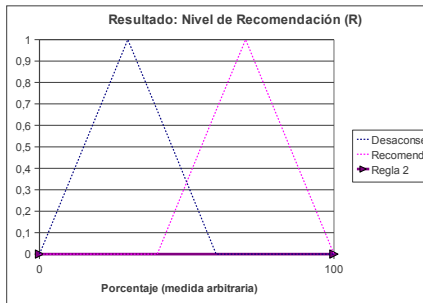
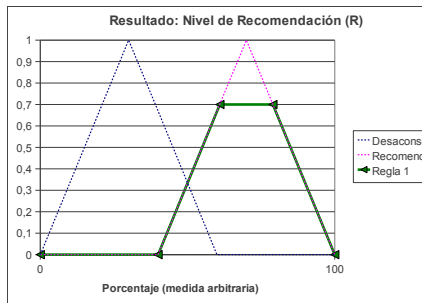
---

R2: SI el cliente es Maduro AND el viaje es Largo,  
 $\mu_{\text{Maduro}}(40) = 0$  **MIN**  $\mu_{\text{Largo}}(20) = 0.3$

→ la recomendación es

Desaconsejado  
 $S = \text{MIN}(0.0, 0.3) = 0.0$

---



# Recomendador: Reglas

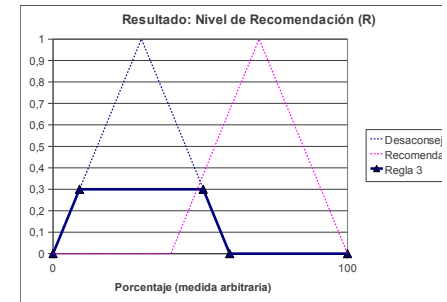
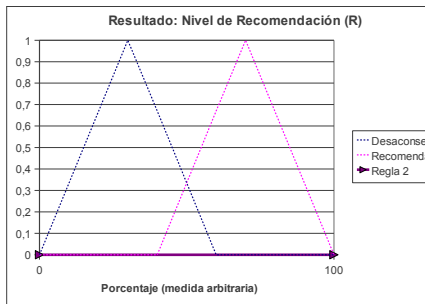
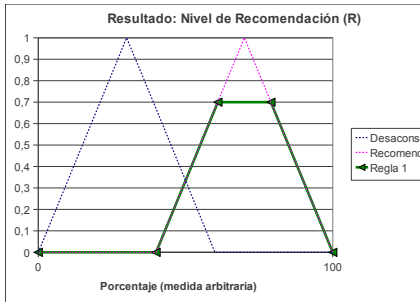
Aplicamos cada una de las reglas con los niveles de similitud que proceden de la borrosificación, y combinamos los valores usando el mínimo para el AND, y el máximo para el OR.

R3: Si el cliente es Adulto AND el viaje es Corto OR Largo,  
 $\mu_{Adulto}(40) = 1.0$  **MIN** ( $\mu_{Corto}(20) = 0.0$  **MAX**  $\mu_{Largo}(20) = 0.3$ )

→ la recomendación es

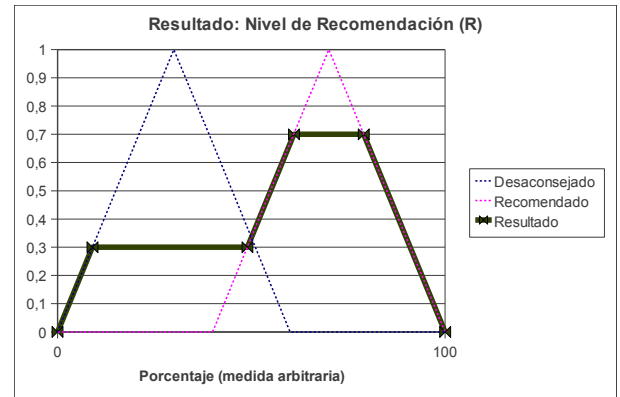
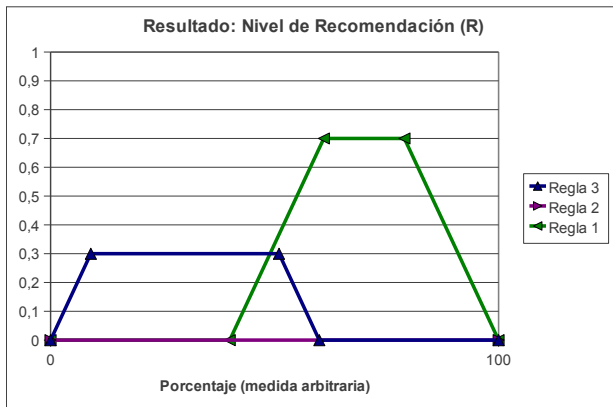
Desaconsejado

$$S = \text{MIN}(1.0, \text{MAX}(0.0, 0.3)) = 0.3$$



## Recomendador: Conjunto resultado

- En el método de Mamdani, el conjunto resultado es la unión de los conjuntos resultado de todas las reglas.
- Como los conjuntos “Desaconsejado” y “Recomendado” son simétricos alrededor del 50, cualquier método de deborrosificación nos dará un valor en el que pesará más el que tenga un nivel más alto. El resultado de deborrosificar estará por lo tanto a la derecha del 50, y el viaje se mostrará al cliente.



## Ejercicio 4: Robot de rescate

Un robot de rescate en incendios debe asignar un nivel de amenaza a los objetos que detecta durante su misión. Para ello utiliza dos tipos de sensores: un distanciómetro láser, que devuelve una distancia a un objeto entre 0 y 1000 m, y un calorímetro que mide la temperatura del objeto entre 0 y 100 grados centígrados. Un experto determina que un objeto tiene un mayor nivel de amenaza cuanto más próximo está y también si su temperatura es elevada. Sin embargo, objetos que están a la vez muy próximos y muy calientes no son considerados amenazas, porque corresponden a las propias partes del robot o a otros robots de rescate del mismo equipo.

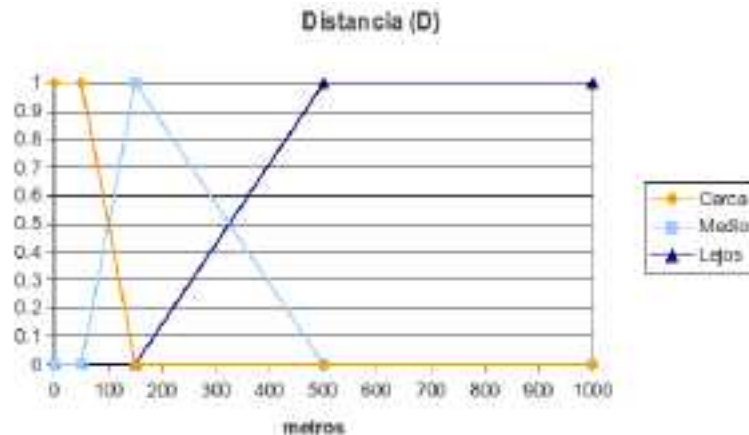
1. Diseñar un sistema de razonamiento borroso que asigne un nivel de amenaza borrosa en función de reglas que hagan inferencia tipo MAMDANI como las vistas en clase (reglas fuzzy-fuzzy). El sistema deberá funcionar según el criterio dado por el experto. Todas las variables (entradas y salida) deben usar tres etiquetas borrosas. Dibujar las variables de forma clara y especificar los valores de los vértices en las figuras. Las reglas pueden darse en forma tabular o textual.
2. Explicar con un ejemplo cómo se realiza el razonamiento y qué conclusión (borrosa) se obtiene. El ejemplo debe incluir: propagación de la incertidumbre (niveles de similitud menores de 1), combinación de incertidumbre en antecedentes (reglas con más de una variable) y combinación de consecuentes (activación simultánea de más de una regla).

# Robot rescate: variables

- ▶ Las variables sobre las que decide el robot son la distancia (D,metros) y el calor detectado (T,grados).
- ▶ La variable de salida es un nivel de amenaza, podemos especificar cualquier rango, p.ej. de 0 a 1.
- ▶ Hay que definir tres etiquetas por variable.

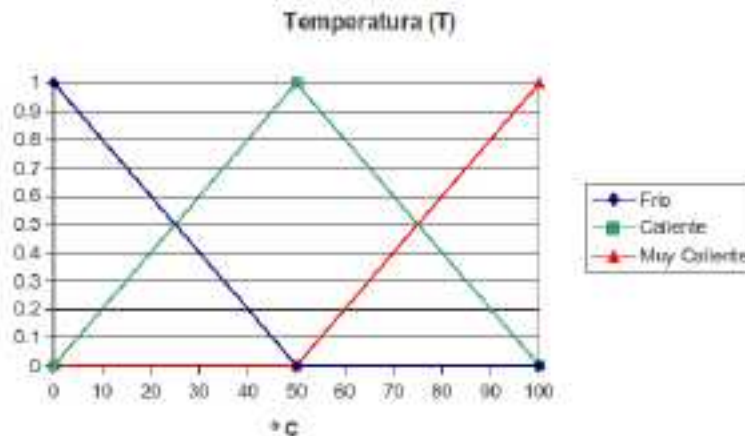
# Robot rescue: variables

- ▶ Las variables sobre las que decide el robot son la distancia (D,metros) y el calor detectado (T,grados).
- ▶ La variable de salida es un nivel de amenaza, podemos especificar cualquier rango, p.ej. de 0 a 1.
- ▶ Hay que definir tres etiquetas por variable.



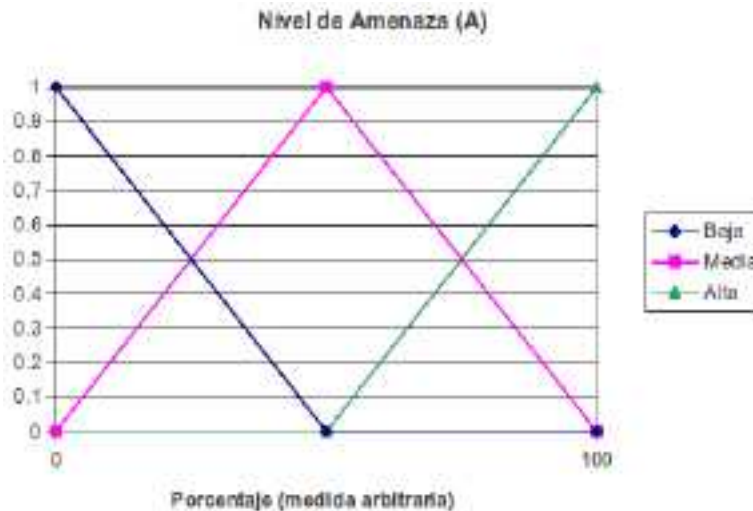
# Robot rescate: variables

- ▶ Las variables sobre las que decide el robot son la distancia (D,metros) y el calor detectado (T,grados).
- ▶ La variable de salida es un nivel de amenaza, podemos especificar cualquier rango, p.ej. de 0 a 1.
- ▶ Hay que definir tres etiquetas por variable.



# Robot rescue: variables

- ▶ Las variables sobre las que decide el robot son la distancia (D,metros) y el calor detectado (T,grados).
- ▶ La variable de salida es un nivel de amenaza, podemos especificar cualquier rango, p.ej. de 0 a 1.
- ▶ Hay que definir tres etiquetas por variable.



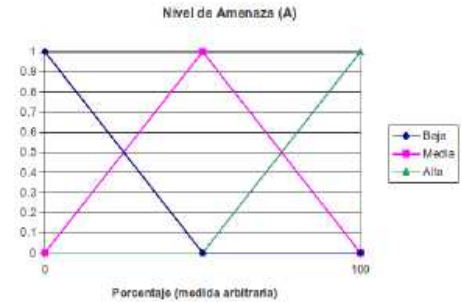
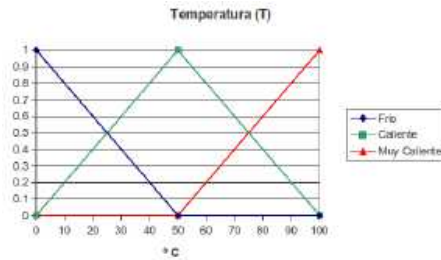
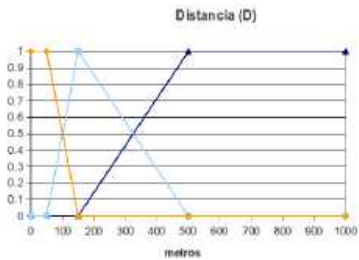


- El experto determina que un objetivo es más peligroso (amenaza alta) cuanto más próximo está (ya que su precisión con las armas sería mayor) y cuando más caliente está (las armas generan calor); sin embargo objetivos muy próximos y cálidos pueden ser los gases de nuestros propios misiles, y estos no deben ser peligrosos (amenaza baja).

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

## Robot rescate: ejemplo inferencia

- Un ejemplo que activa varias reglas con niveles diferentes de 1.0 podría ser  $D = 250$  y  $T = 90$ .

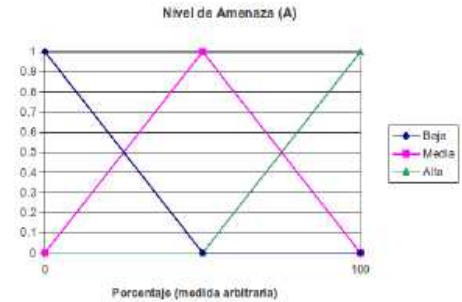
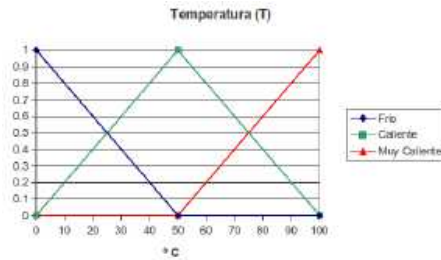
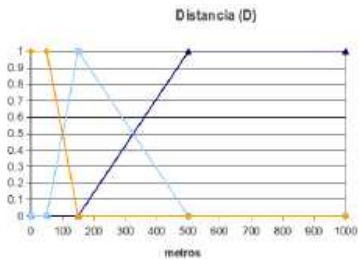


- Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

## Robot rescate: ejemplo inferencia

- Un ejemplo que activa varias reglas con niveles diferentes de 1.0 podría ser  $D = 250$  y  $T = 90$ .

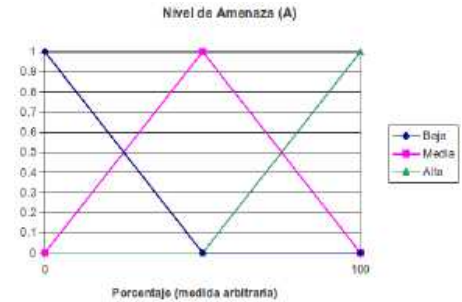
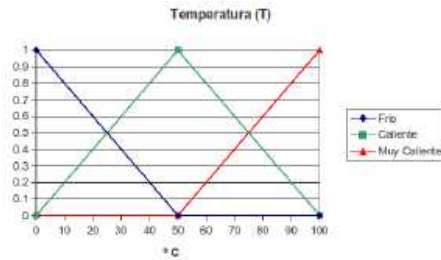
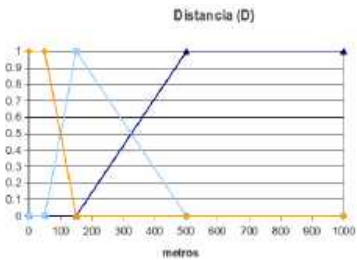


- Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

## Robot rescate: ejemplo inferencia

- Un ejemplo que activa varias reglas con niveles diferentes de 1.0 podría ser  $D = 250$  y  $T = 90$ .



- Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - Si  $D = \text{Media}$  ( $S = 0.7$ ) y  $T = \text{Caliente}$  ( $S = 0.2$ ), Amenaza = Media ( $S =$

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si  $D = \text{Media}$  ( $S = 0.7$ ) y  $T = \text{Caliente}$  ( $S = 0.2$ ), Amenaza = Media ( $S = 0.2$ )

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si  $D=Media$  ( $S = 0.7$ ) y  $T=Caliente$  ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si  $D=Media$  ( $S = 0.7$ ) y  $T=Muy Caliente$  ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Alta ( $S=$



## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si  $D=Media$  ( $S = 0.7$ ) y  $T=Caliente$  ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si  $D=Media$  ( $S = 0.7$ ) y  $T=Muy Caliente$  ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Alta ( $S= 0.7$ )

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Alta ( $S= 0.7$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Baja ( $S=$

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Alta ( $S= 0.7$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Baja ( $S= 0.2$ )

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Alta ( $S= 0.7$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Baja ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Media ( $S=$

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Alta ( $S= 0.7$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Baja ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.3$ )

## Robot rescate: ejemplo inferencia (II)

$\frac{T \rightarrow}{D \downarrow}$	Frío	Caliente	Muy Caliente
Cerca	Media	Alta	Baja
Medio	Baja	Media	Alta
Lejos	Baja	Baja	Media

- ▶ Se activan reglas que corresponden a las casillas marcadas, porque D es Media (con  $S = 0.7$ ) y Lejos ( $S = 0.3$ ), mientras que T es Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) y Caliente ( $S = 0.2$ ).
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Media ( $S = 0.7$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Alta ( $S= 0.7$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Caliente ( $S = 0.2$ ) , Amenaza=Baja ( $S= 0.2$ )
  - ▶ Si D=Lejos ( $S = 0.3$ ) y T=Muy Caliente ( $S = 0.8$ ) , Amenaza=Media ( $S= 0.3$ )
- ▶ Resultado: unión de los conjuntos borrosos “cortados”

$$\begin{aligned}\text{Resultado} &= \text{Media}(0.2) \cup \text{Alta}(0.7) \cup \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \\ &= \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \cup \text{Alta}(0.7)\end{aligned}$$

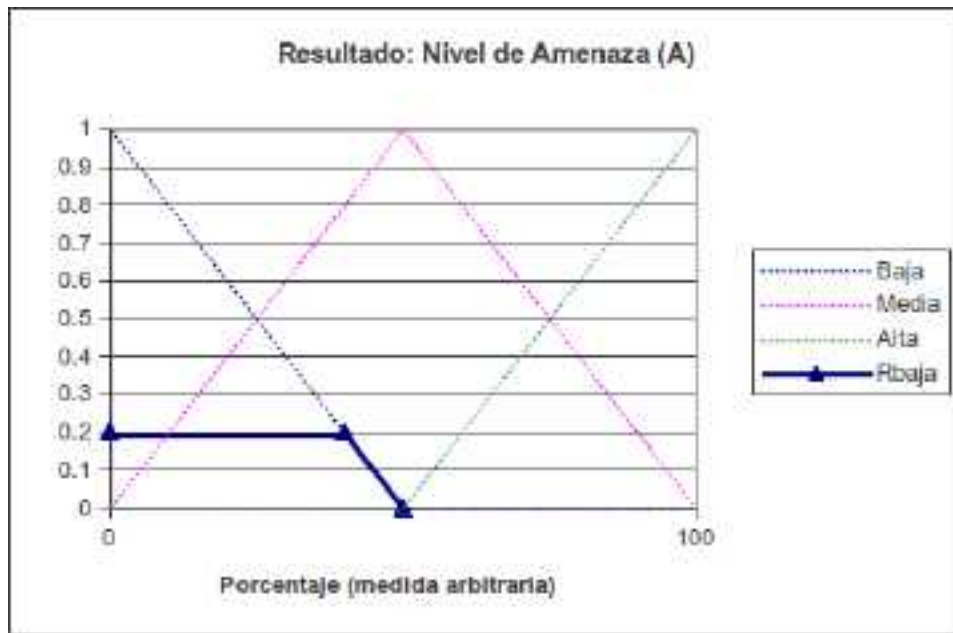
- Resultado: unión de los conjuntos borrosos “cortados”

$$\begin{aligned} \textit{Resultado} &= \textit{Media}(0.2) \cup \textit{Alta}(0.7) \cup \textit{Baja}(0.2) \cup \textit{Media}(0.3) \\ &= \textit{Baja}(0.2) \cup \textit{Media}(0.3) \cup \textit{Alta}(0.7) \end{aligned}$$

# Robot rescate: ejemplo inferencia (III)

- Resultado: unión de los conjuntos borrosos “cortados”

$$\begin{aligned} \text{Resultado} &= \text{Media}(0.2) \cup \text{Alta}(0.7) \cup \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \\ &= \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \cup \text{Alta}(0.7) \end{aligned}$$



- $R_{Baja} = Baja(S = 0.2)$

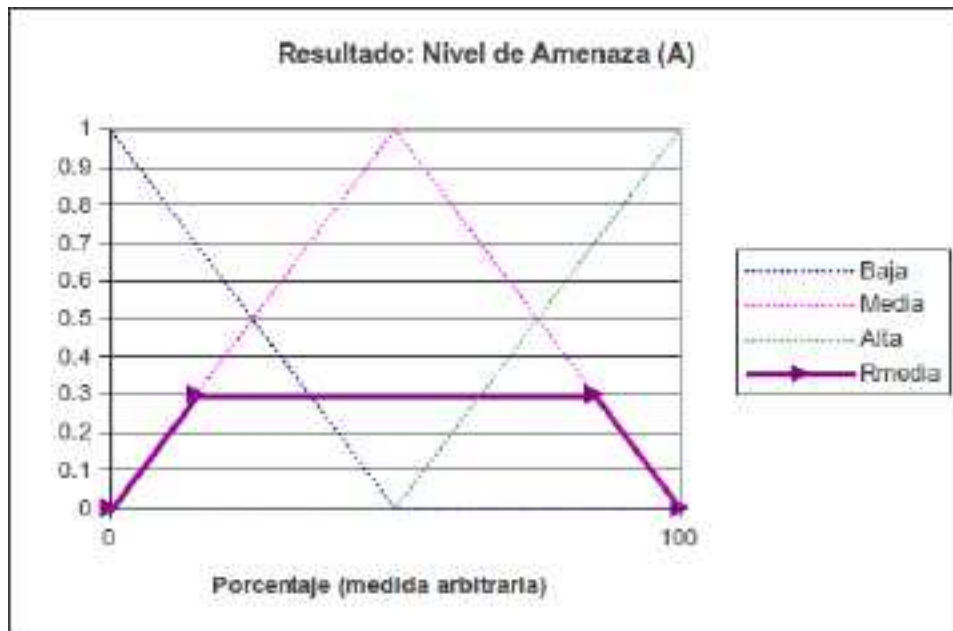
- $R_{Media} = Media(S = 0.3)$



# Robot rescate: ejemplo inferencia (III)

- Resultado: unión de los conjuntos borrosos “cortados”

$$\begin{aligned} \text{Resultado} &= \text{Media}(0.2) \cup \text{Alta}(0.7) \cup \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \\ &= \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \cup \text{Alta}(0.7) \end{aligned}$$



- $R_{Baja} = Baja(S = 0.2)$

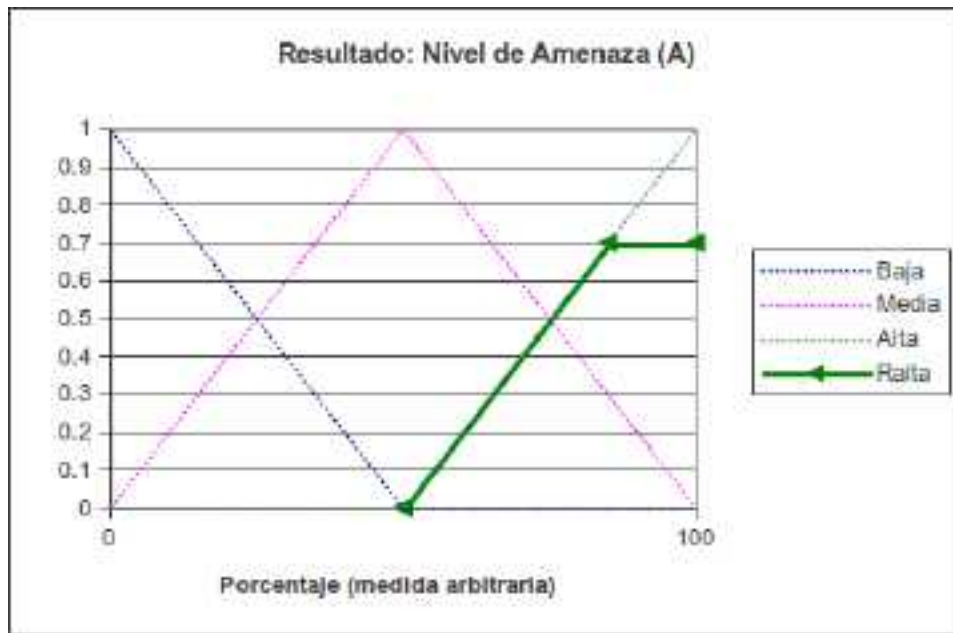
- $R_{Media} = Media(S = 0.3)$

- $R_{Alta} = Alta(S = 0.7)$

# Robot rescate: ejemplo inferencia (III)

- Resultado: unión de los conjuntos borrosos “cortados”

$$\begin{aligned} \text{Resultado} &= \text{Media}(0.2) \cup \text{Alta}(0.7) \cup \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \\ &= \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \cup \text{Alta}(0.7) \end{aligned}$$



- $R_{Baja} = Baja(S = 0.2)$

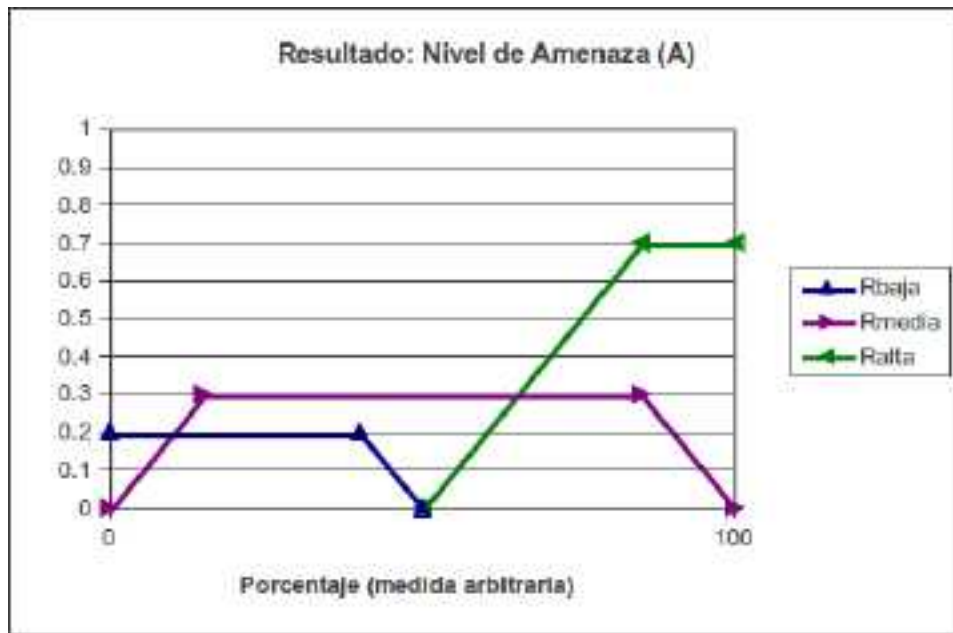
- $R_{Media} = Media(S = 0.3)$

- $R_{Alta} = Alta(S = 0.7)$

# Robot rescate: ejemplo inferencia (III)

- Resultado: unión de los conjuntos borrosos “cortados”

$$\begin{aligned} \text{Resultado} &= \text{Media}(0.2) \cup \text{Alta}(0.7) \cup \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \\ &= \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \cup \text{Alta}(0.7) \end{aligned}$$



- $R_{Baja} = Baja(S = 0.2)$

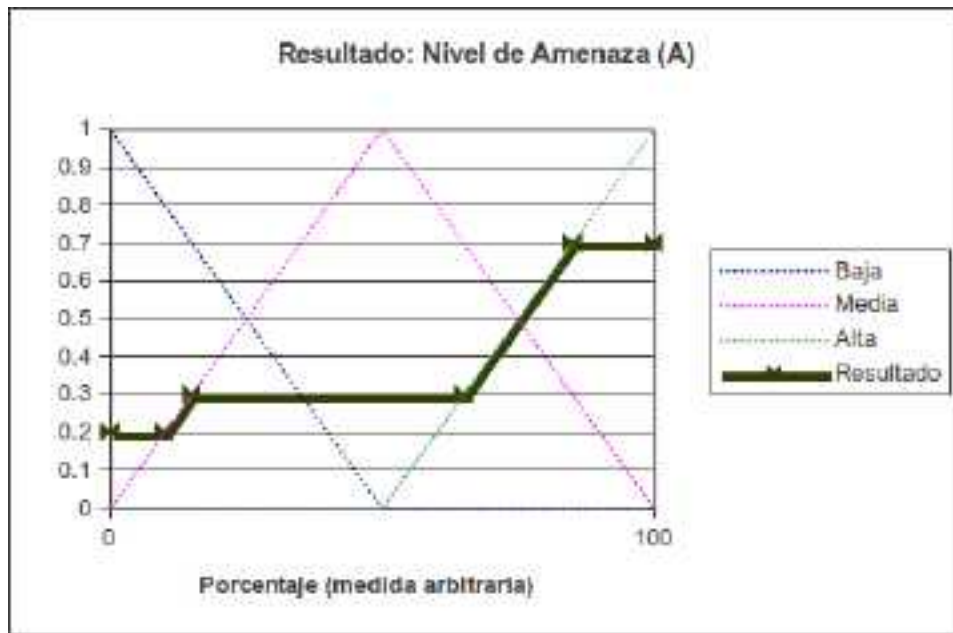
- $R_{Media} = Media(S = 0.3)$

- $R_{Alta} = Alta(S = 0.7)$

# Robot rescate: ejemplo inferencia (III)

- Resultado: unión de los conjuntos borrosos “cortados”

$$\begin{aligned} \text{Resultado} &= \text{Media}(0.2) \cup \text{Alta}(0.7) \cup \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \\ &= \text{Baja}(0.2) \cup \text{Media}(0.3) \cup \text{Alta}(0.7) \end{aligned}$$



- $R_{Baja} = Baja(S = 0.2)$

- $R_{Media} = Media(S = 0.3)$

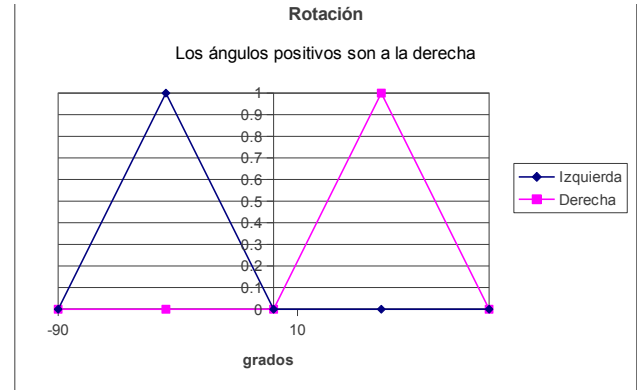
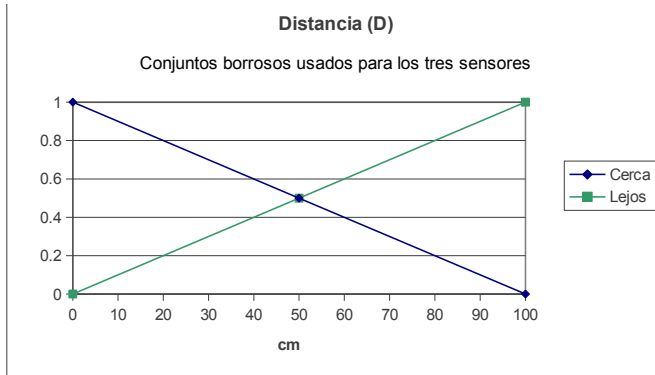
- $R_{Alta} = Alta(S = 0.7)$

Queremos utilizar lógica borrosa para controlar el movimiento de un robot redondo que tiene tres sensores de distancia, distribuidos en el frente, a la derecha e izquierda. (Convocatoria ordinaria 2014-15)

- ▶ Complete el enunciado explicando cómo podrían ser los actuadores del robot.
- ▶ Defina la variable que mide cada sensor mediante etiquetas borrosas y represente las reglas que permitirían al robot evitar obstáculos.
- ▶ Ponga un ejemplo dando un valor numérico a cada sensor, explicando cómo se calculan los valores de pertenencia a cada etiqueta, qué reglas se activan y cómo se evalúa la salida.

- ▶ **Entradas:** hay tres variables diferentes, pero sobre la misma magnitud (distancia). Pondremos  $D_i, D_c$  y  $D_d$  y todas ellas tomarán valores numéricos entre 0 y 1 metros. Sobre esta magnitud definiremos el conjunto borroso *Cerca* cuya  $\mu_{Cerca}(x)$  será decreciente linealmente entre 1.0 y 0.
- ▶ **Salidas:** No dicen cómo mueve el robot. Lo más sencillo es que tenga la posibilidad de girar en un sentido o en otro. Habrá una variable *Rotar* medida en grados, que toma valores positivos hacia la derecha y negativos a la izquierda. Sobre ella, dos conjuntos borrosos: *Derecha* e *Izquierda*, simétricos.
- ▶ Es decir suponemos que el robot aplica un movimiento continuo hacia su frente, pero al 'Rotar' en un sentido u otro cambia su trayectoria.

# Roomba: Reglas



- **Reglas:** Tenemos que decidir, como expertos, cuáles serían las reglas. **El criterio básico es que queremos estar lejos de cualquier obstáculo.** Por lo tanto, podríamos decir:
  1. Si  $D_j$  es *Cerca*, entonces *Rotar es Derecha*
  2. Si  $D_d$  es *Cerca*, entonces *Rotar es Izquierda*
  3. Si  $D_c$  es *Cerca*, entonces *Rotar es Derecha*
- Hemos incluido la regla de rotar a la derecha cuando encuentra un obstáculo al frente. De ese modo saldrá incluso de situaciones de “callejón sin salida”

## Ejemplo numérico:

- ▶ Si la distancia medida por el sensor de la izquierda es 40cm, la variable  $D_i$  vale *Cerca* con un valor de similitud de 0.6.
- ▶ Si los demás sensores tienen distancias mayores de 100cm, las variables  $D_d$  y  $D_c$  valen *Cerca* con un valor de similitud de 0
- ▶ En esa situación sólo la regla 1 da una salida mayor de 0.
- ▶ La salida es *Derecha* pero con un nivel de 0.6 (se corta el conjunto borroso a esa altura). En cualquier caso por simetría la deborrosificación daría un ángulo de  $45^\circ$ .
- ▶ Si hay otros sensores con entradas que generen resultados de giro a la izquierda, aparecerá otro triángulo a la izquierda y la composición de ambos dará valores entre de  $-45^\circ$  y  $45^\circ$ .