Control Borroso

Rosa Mª Aguilar Chinea
Vanesa Muñoz Cruz

Indice

Introducción

Motivación: modelar las imprecisiones

Solución: conjuntos y reglas borrosas

Control Borroso:

- Definición sistemas con variables lingüísticas ⇒ valores lingüísticos
- Reglas en función de dichas variables

Conjuntos Borrosos

- **Conjunto borroso** (Lofti A. Zadeh,1964): representar y manipular datos que no eran precisos

- Determinadas magnitudes pueden tomar valores que difícilmente se pueden clasificar en un conjunto determinado, quedando excluidos del resto de conjuntos.
  - Ciudades lejana de una dada
  - Individuos jóvenes

Introducción

- El Control Borroso es uno de los nuevos métodos del Control Inteligente.
- Trata de imitar el procedimiento que utilizamos los seres humanos al manejar muchos sistemas.
- Ej: El caso del manejo de una llave de agua. Para obtener el caudal deseado razonamos en términos como:
  - ✓ "Si el caudal es muy poco girar mucho la llave a la izquierda"
  - ✓ "Si el caudal es mucho girar la llave un poco a la derecha", etc.

Introducción

- En estas reglas no aparecen magnitudes precisas del tipo "2 litro/segundo" o "64 grados en sentido antihorario" y a pesar de ello conseguimos regular el caudal deseado.

- Esta forma de razonar la aplicamos también en situaciones más complejas, desde regular no sólo el caudal sino la temperatura del agua hasta cuando conducimos un coche. En ningún caso conocemos los valores exactos sino que nos bastan magnitudes vagas como "muy caliente", " cerca", "deprisa", etc.

- Otro aspecto importante es que ese control se puede expresar como un conjunto de reglas de la forma:
  - "Si ciertas condiciones en unas variables entonces unas acciones en otras".

- En esta estructura las condiciones se denominan antecedentes y las acciones consecuentes.

- Se puede concluir que el razonamiento humano, en estas situaciones, se realiza aplicando la lógica a magnitudes imprecisas.

Introducción

- Si queremos implementar ese control artificialmente lo más conveniente es usar una herramienta que modele las magnitudes imprecisas, que es la Teoría de Conjuntos Borroso, y una lógica para esas magnitudes, que es la Lógica Borrosa.

- Ambos elementos pertenecen a una nueva línea de la rama simbólica de la Inteligencia Artificial que ha tenido en el Control Borroso una de sus principales aplicaciones, por encima de otras más formales como los sistemas expertos basados en lógica difusa.

- El hecho de que reproduzca el esquema de razonamiento humano justifica el éxito de este nuevo método, debido a lo fácil de entender y utilizar. En pocos años ha tenido un auge muy importante y ha supuesto un gran éxito comercial de la IA, por encima incluso de los sistemas expertos.

Introducción

- El desarrollo de la Lógica Difusa se debe a los trabajos de Lotfi A. Zadeh profesor de Ingeniería Electrónica en el Departamento del mismo nombre de la Universidad de California Berkeley.

- La noción de Conjunto Borroso (Fuzzy Set) aparece por primera vez en 1964 y fue publicada un año más tarde en la revista Information and Control dando nacimiento a la llamada Teoría de los Subconjuntos Borrosos.

Introducción

- Lo difuso, aunque su teoría es relativamente reciente, es algo que ha acompañado al hombre desde siempre.

- A diario realizamos tareas complejas con un conocimiento poco preciso. Esto es así porque la única manera de tratar con situaciones complejas es reducir la precisión.

- En palabras del padre de la Lógica Difusa, L.Zadeh: *Cuando la complejidad aumenta, las afirmaciones precisas pierden significado y las afirmaciones más significativas pierden precisión.*

Introducción

- La lógica de proposiciones, que equivale a la teoría de conjuntos clásica y al álgebra de Boole, sólo permite manejar magnitudes precisas.
- Para afirmaciones del tipo x es P (P(x)) sólo se puede decir que es verdadero o falso, o de manera equivalente sólo es posible que $x \in P$ o que $x \notin P$.
- Esto tiene plena validez en ciertas ocasiones, por ejemplo si x es entero y P representa el subconjunto de los números primos, se puede saber perfectamente si x pertenece o no a P, o de manera equivalente si es verdadera o falsa la afirmación x es Primo.

Introducción

- En cambio existen gran cantidad de objetos habituales que no son convenientemente representados de esta manera.
- Ej: definición de los subconjuntos de edad. El determinar si un individuo de cierta edad es JOVEN no se hace de manera exacta.
  - No se coloca en ese subconjunto a los menores de 35 y se excluye a los que tengan 35 años y un día. Esto es inaceptable desde el punto de vista del sentido común.
- Los conjuntos clásicos no pueden representar convenientemente esas situaciones. En cambio la teoría de conjuntos difusos permite modelar esas imprecisiones.

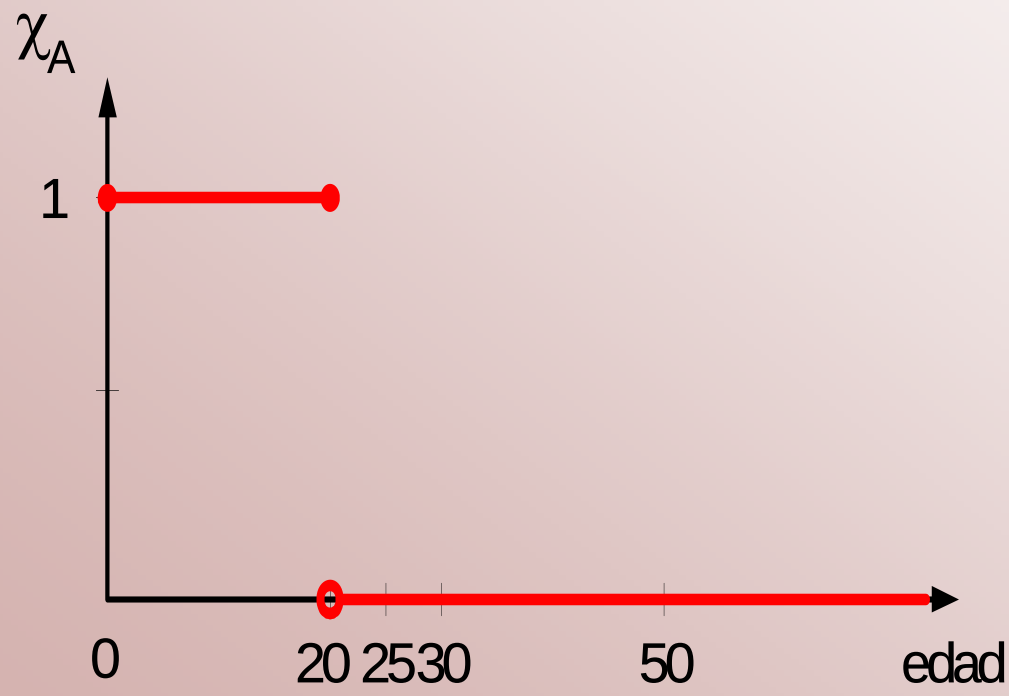
Introducción

1. Comenzaremos recordando brevemente la teoría de conjuntos clásicos, que llamaremos a partir de ahora conjuntos concisos.
2. Veremos como se extiende su definición y operaciones en la teoría de conjuntos borrosos.
3. A continuación veremos que la Lógica de Proposiciones es isomorfa a la Teoría de Conjuntos y esa será la forma de definir la Lógica Borrosa.

- Teoría clásica de conjuntos: función característica χ_A

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

Ej. A={conjunto de gente joven}

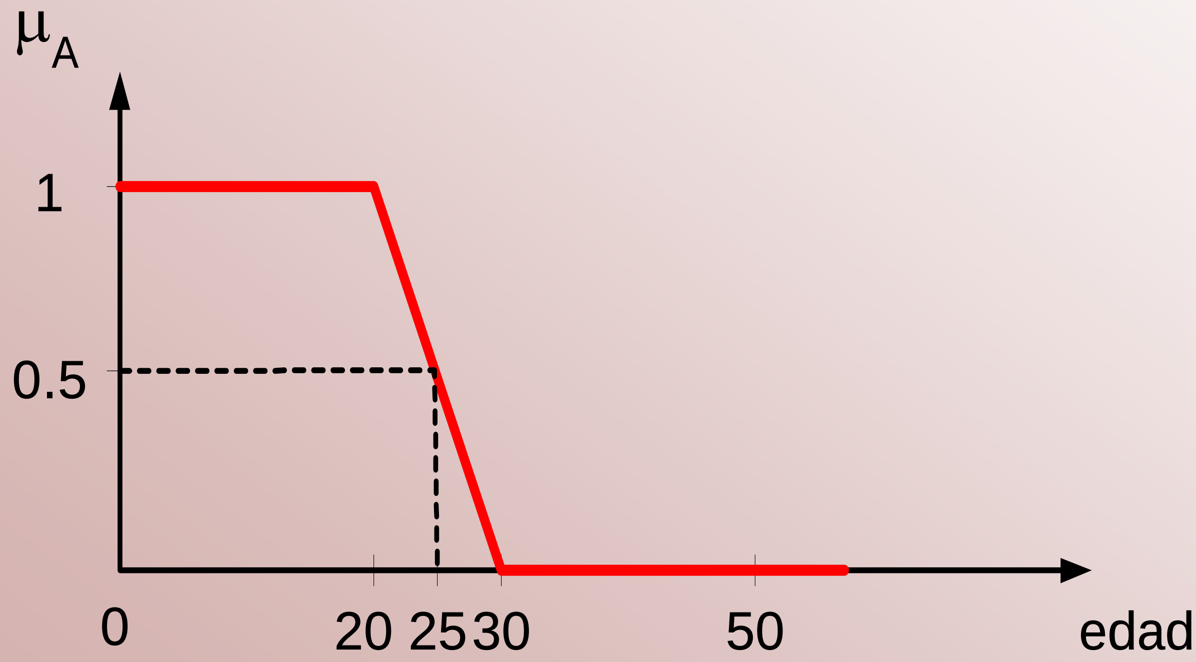


Conjuntos Borrosos

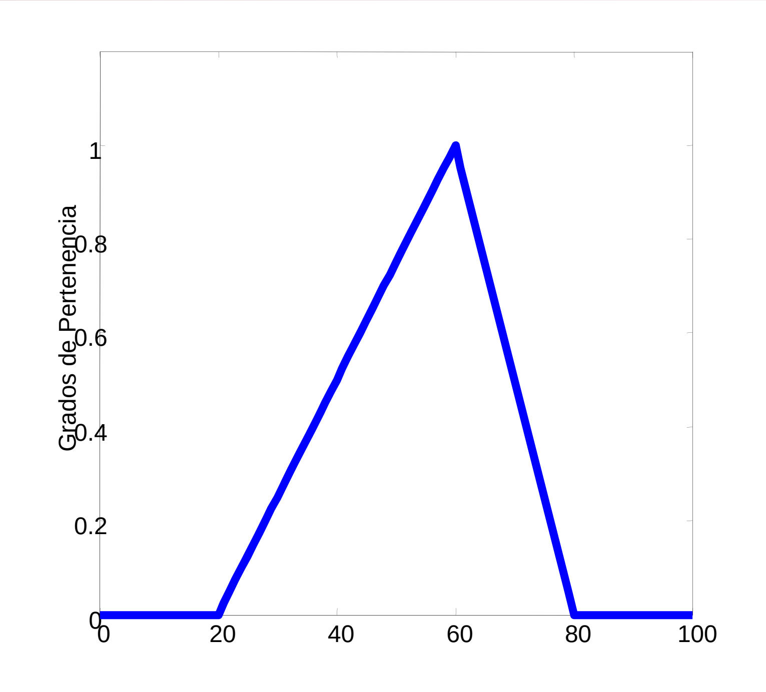
- Conjuntos Borrosos: la función de pertenencia μ_A

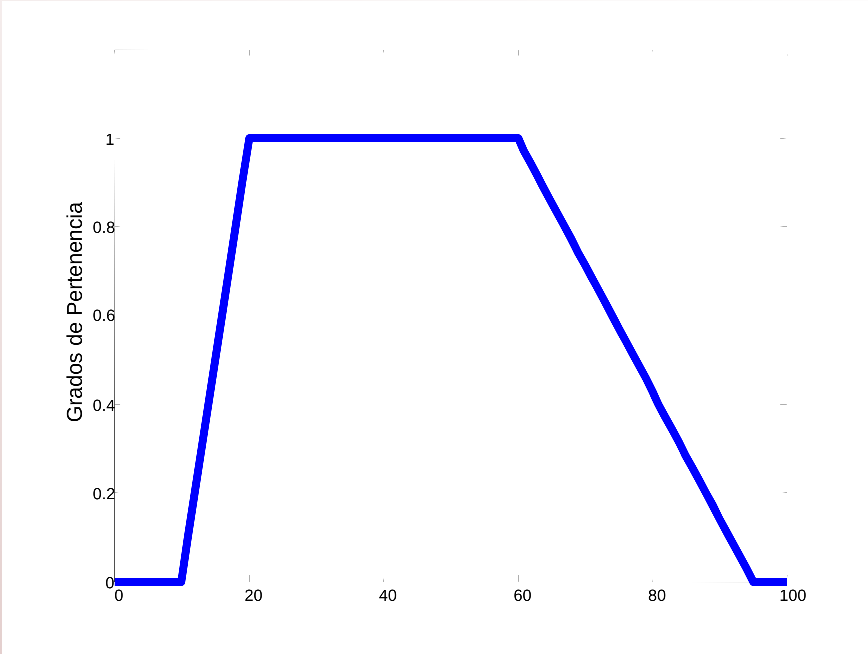
$$\mu_A : X \rightarrow [0,1]$$

Ej. A={conjunto de gente joven}



Conjuntos Borrosos

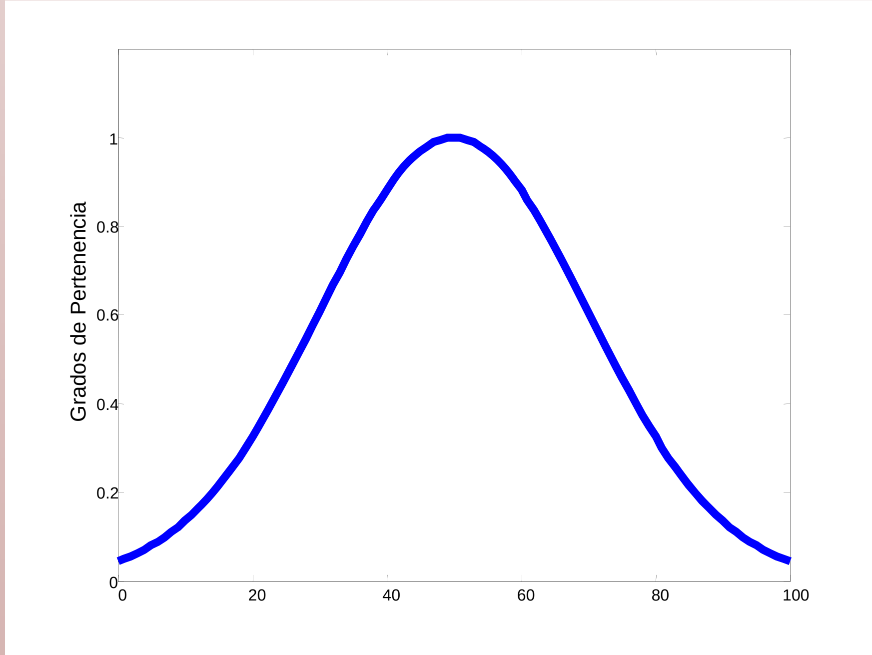


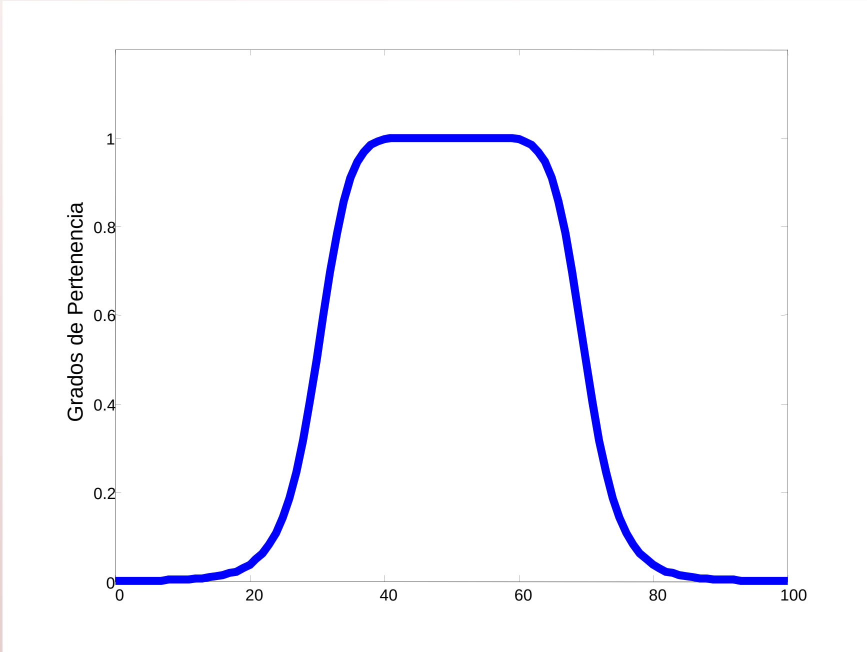


Función de pertenencia triangular(20,60,80).

Función de pertenencia trapezoidal con parámetros (10,20,60,95)

Conjuntos Borrosos

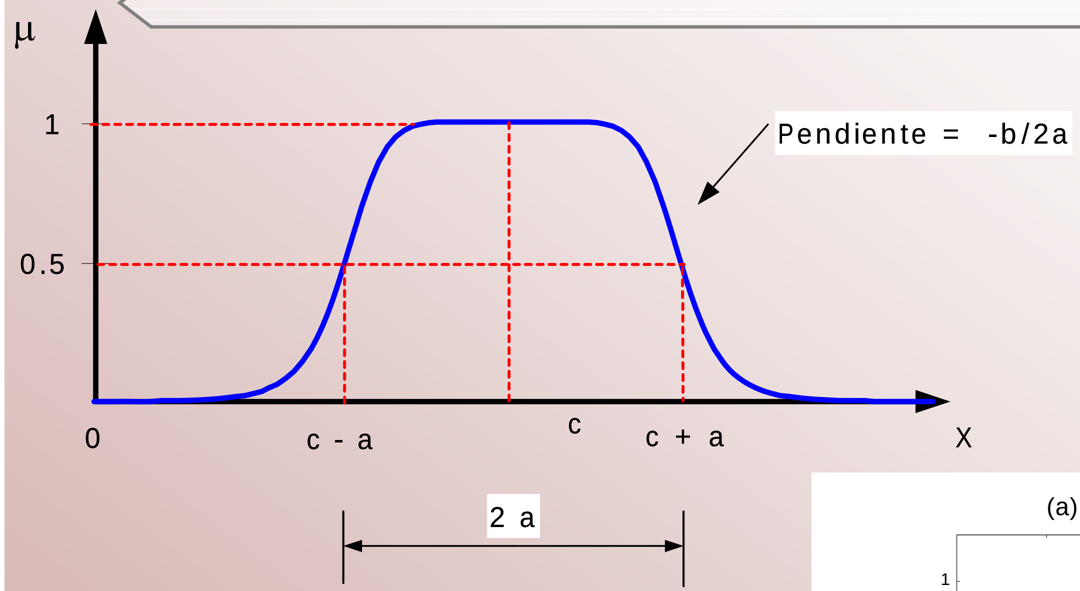


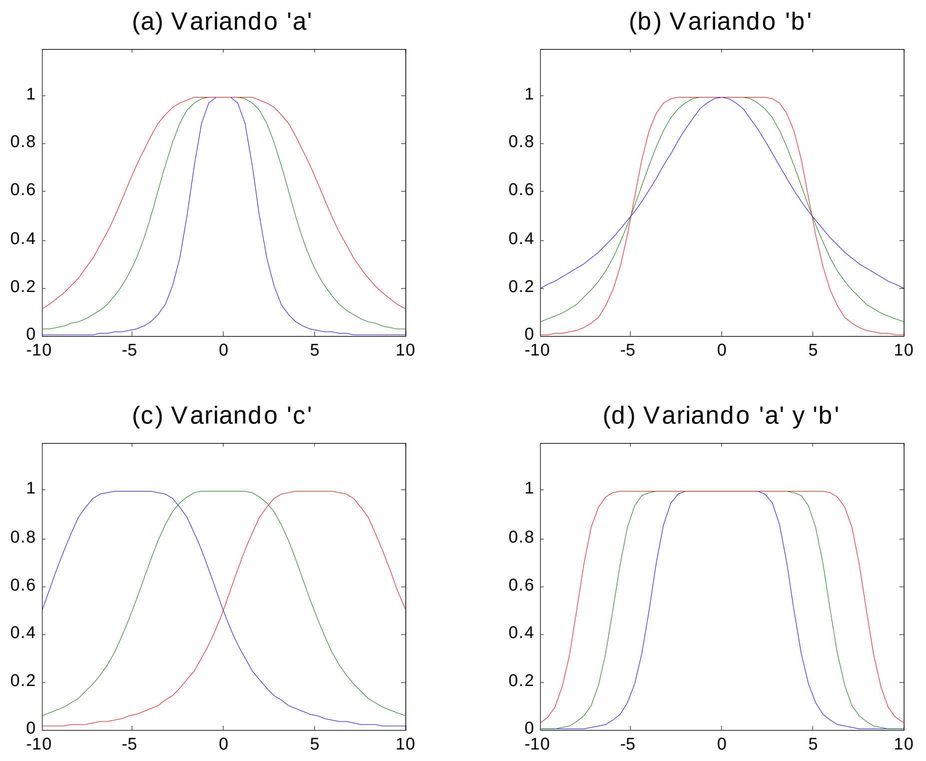


Función de pertenencia gausiana (50,20)

Función de pertenencia campana generalizada (x; 20,4,50)

Conjuntos Borrosos



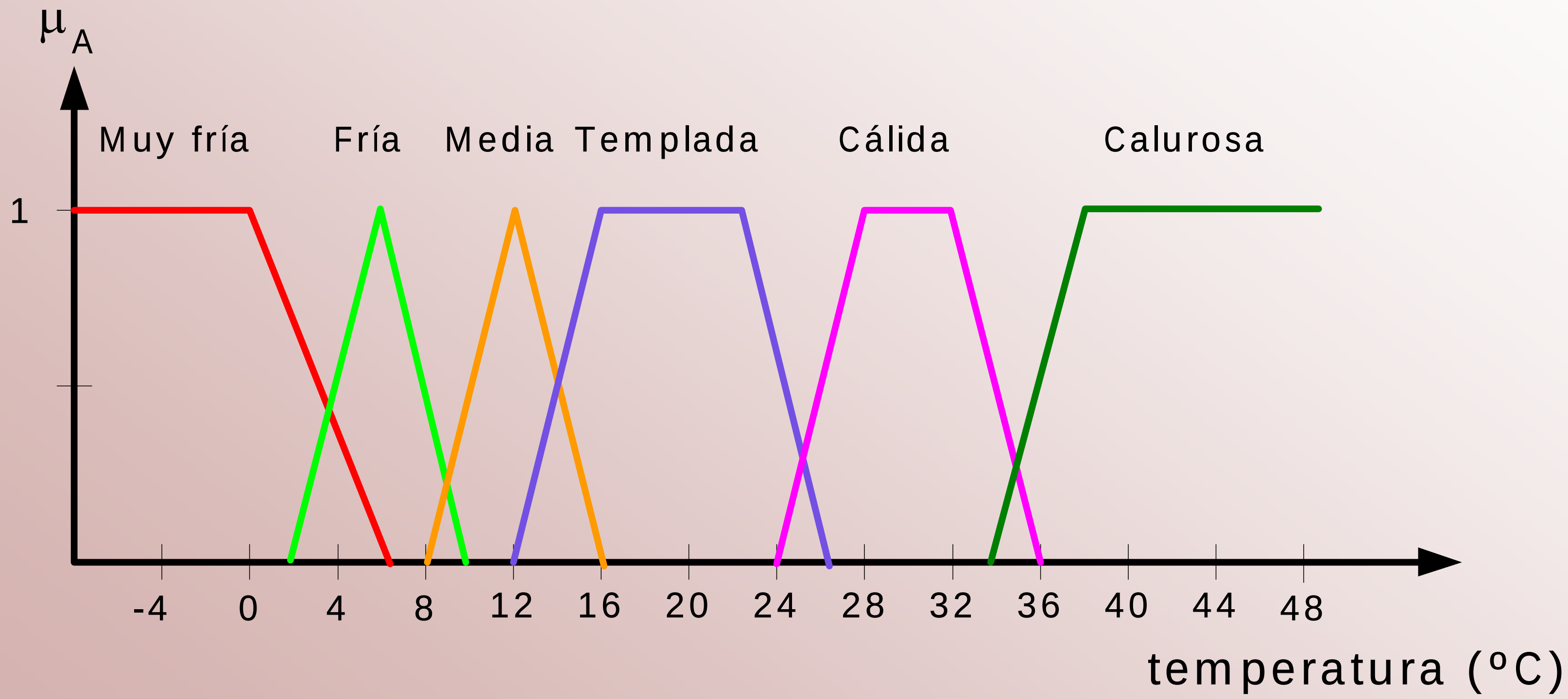


Selección de los parámetros {a, b, c} se define la campana deseada

Indice

Variables Lingüísticas

•Utilizar los conjuntos borrosos para representar variables lingüísticas

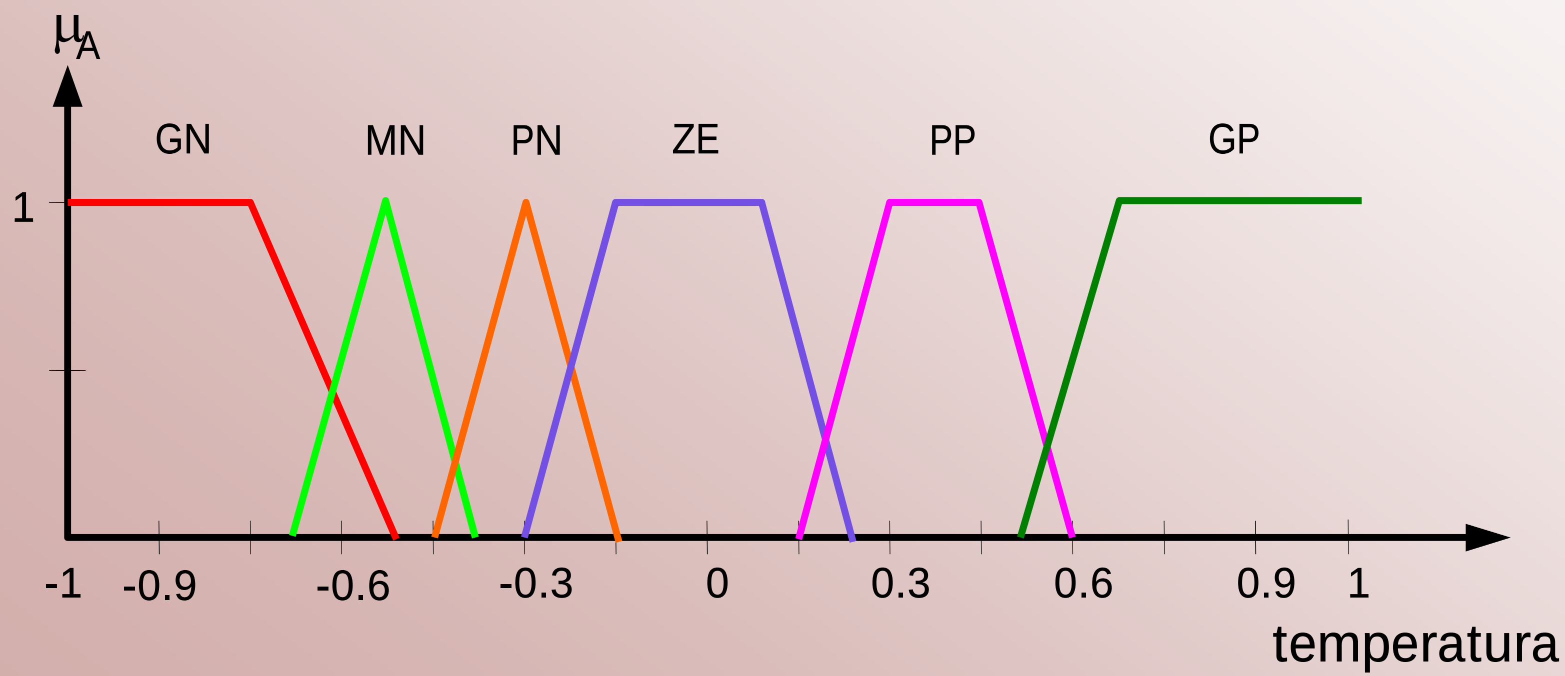


Variables Lingüísticas

- Términos lingüísticos normalizado

•GP	Grande Positivo	•GN	Grande Negativo
•MP	Medio Positivo	•MN	Medio Negativo
•PP	Pequeño Positivo	•PN	Pequeño Negativo

•ZE Cero



Indice

1. Introducción
2. Conjuntos Borrosos
3. Variables Lingüísticas
4. Definición Lógica Borrosa
5. Operaciones con Conjuntos Borrosos
6. Reglas Borrosas Si-Entonces
7. Razonamiento Borroso
8. Sistema de Inferencia Borrosa
9. Ejemplo

- Relación entre la Lógica clásica y Teoría clásica de conjuntos.

Unión	$A \cup B$	$x \in A \vee x \in B$
Intersección	$A \cap B$	$x \in A \wedge x \in B$
Complemento	$X - A$	$\neg(x \in A)$
Inclusión	$A \subseteq B$	$x \in A \Rightarrow x \in B$

- Los siguientes elementos son equivalentes:

$\cup$	$\vee$
$\cap$	$\wedge$
$-$	$\neg$
X	V
$\varnothing$	F
$\subseteq$	$\Rightarrow$

Lógica Borrosa

- Este isomorfismo para las teorías clásicas se traslada a la Lógica Borrosa.

- Definir las operaciones sobre conjuntos borrosos $\Rightarrow$ queda definida la Lógica Borrosa

Conmutativa:	$P \vee Q = Q \vee P$	$P \wedge Q = Q \wedge P$
Asociativa:	$(P \vee Q) \vee R = P \vee (Q \vee R)$	$(P \wedge Q) \wedge R = P \wedge (Q \wedge R)$
Idempotencia:	$P \vee P = P$	$P \wedge P = P$
Absorción:	$P \vee (P \wedge Q) = P$	$P \wedge (P \vee Q) = P$
Distributiva:	$P \vee (Q \wedge R) = (P \vee Q) \wedge (P \vee R)$	$P \wedge (Q \vee R) = (P \wedge Q) \vee (P \wedge R)$
Involución:	$\neg\neg P = P$	
Elementos neutros:	$P \vee F = P$	$P \wedge V = P$
Mitad excluida		
y no contradicción:	$P \vee \neg P = V$	$P \wedge \neg P = F$
$\neg F = V$	$\neg V = F$	
Leyes de Morgan:	$\neg(P \vee Q) = \neg P \wedge \neg Q$	$\neg(P \wedge Q) = \neg P \vee \neg Q$

Indice

Operaciones con conjuntos borrosos

<u>*Complemento*</u> La aplicación c definida por:

$$c : [0,1] \rightarrow [0,1]$$
$$\mu_A(x) \quad \mu_{\bar{A}}(x) = c[\mu_A(x)] \; , \; x \in \mathbf{X}$$

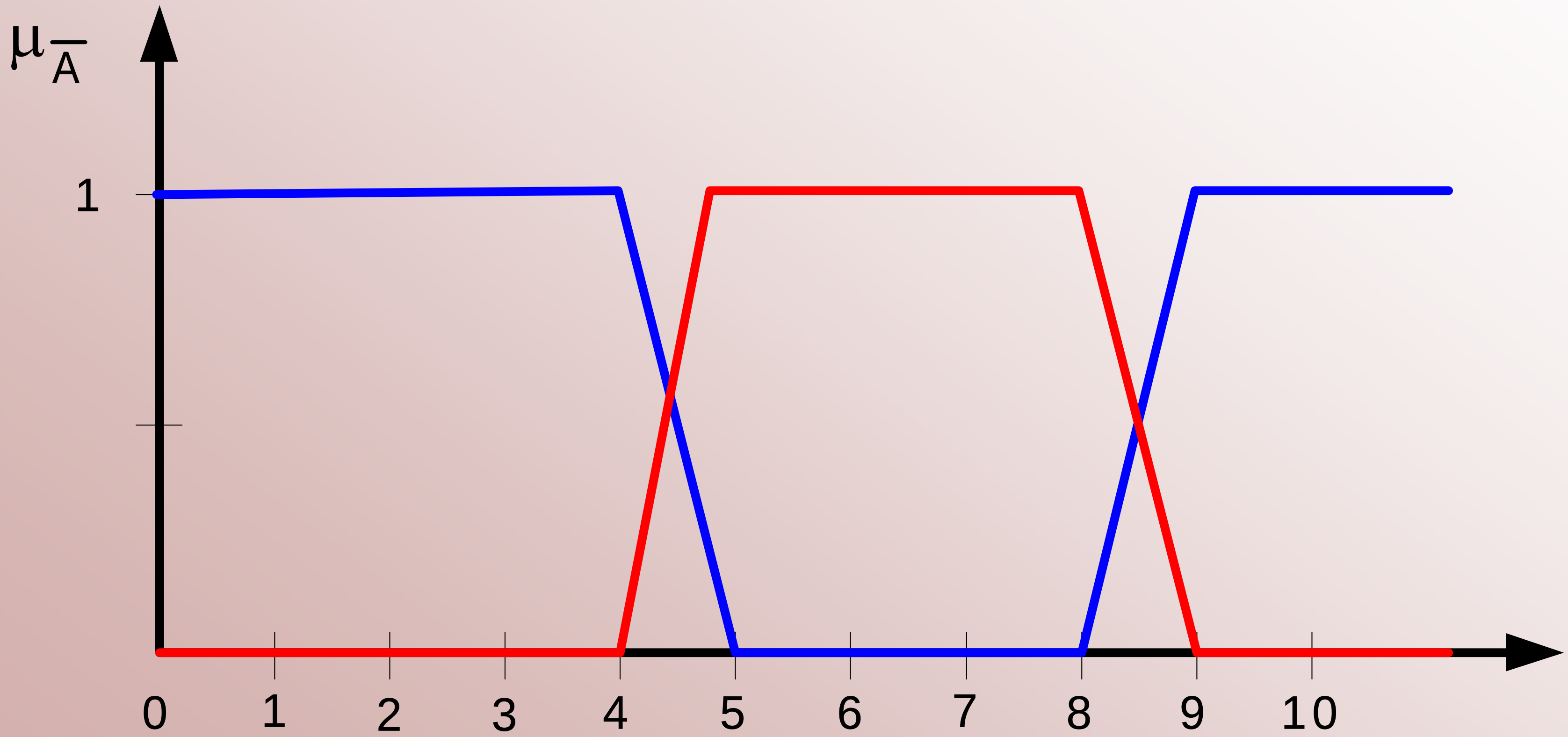
Implementa el complemento de un conjunto borroso *A* si satisface las siguientes propiedades:

1. $c(x) \leq c(y)$, si $x > y$ (monotonicidad no creciente) $x,y \in [0,1]$
2. $c(0)=1$; $c(1)=0$ (condición de contorno)

Estándar	$c(x) = 1 - x$
Sugeno	$c_\lambda(x) = \dfrac{1-x}{1+\lambda x} \;, \;\; con \;\; \lambda > -1$
Yager	$c(x) = \left(1 - x^p\right)^{1/p}, \;\; p > 0$

Operaciones con conjuntos borrosos

Complemento estándar



Operaciones con conjuntos borrosos

Intersección La aplicación i definida por:

$i : [0,1] \times [0,1] \to [0,1]$

$(\mu_A(x), \mu_B(x)) \qquad \mu_{A\cap B}(x) = i[\mu_A(x), \mu_B(x)]\ ,\ x \in \mathbf{X}$

Implementa la intersección entre los conjuntos borrosos A y B si satisface las siguientes propiedades:

1. $i(x,y) = i(y,x)$ (conmutatividad) $x,y,z \in [0,1]$
2. $i(x,i(y,z)) = i(i(x,y),z)$ (asociatividad)
3. $i(x,y) \leq i(x',y')$, si $x \leq x'$ e $y \leq y'$ (monotonicidad en cada argumento)
4. $i(1,1)=1$; $i(0,1)=i(1,0)=i(0,0)=0$ (condición de contorno)

Operaciones con conjuntos borrosos

- Norma triangular o T-norma es una generalización de la intersección.

$$T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

- Tiene que satisfacer:

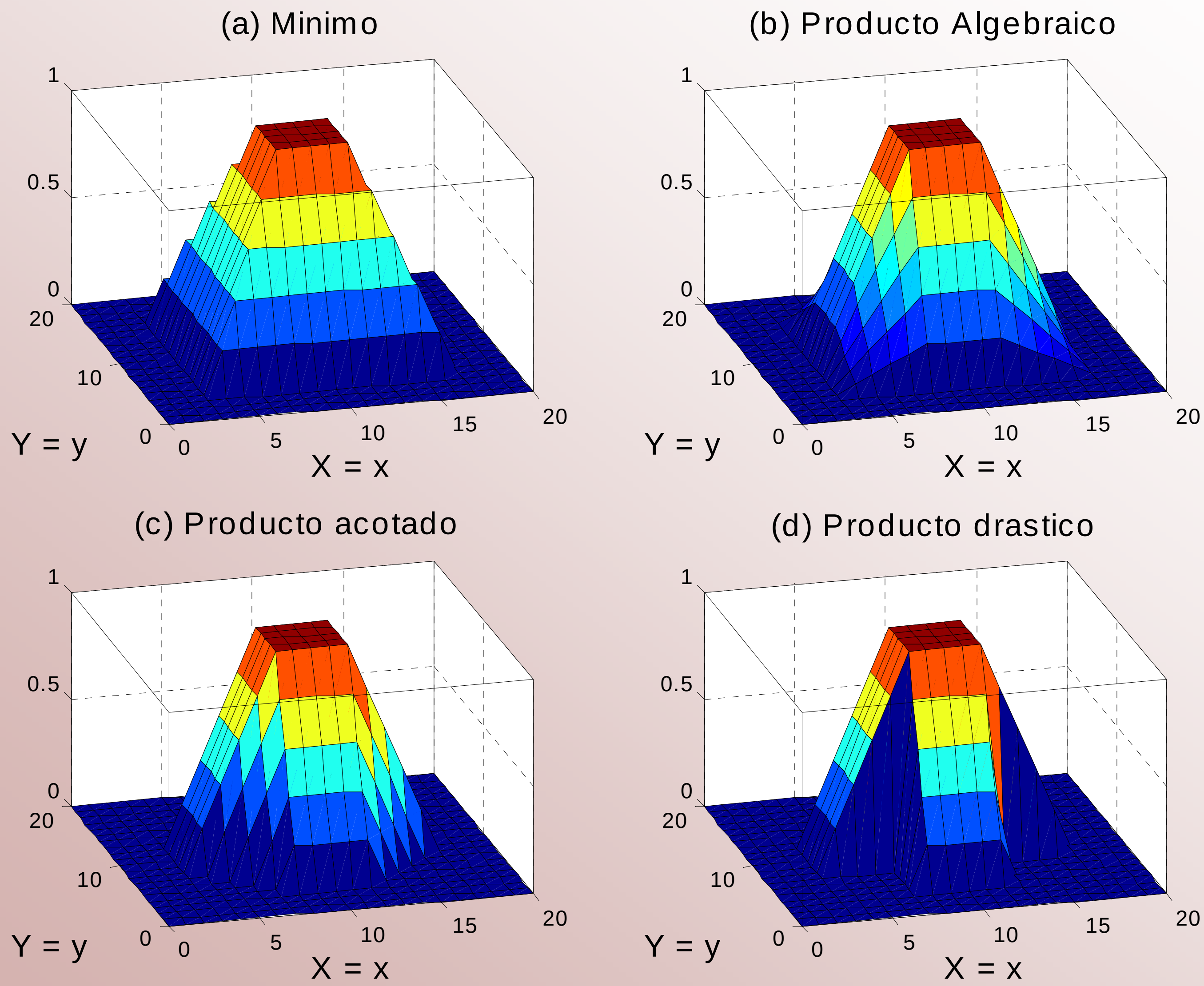
$T(x,1) = x$ (Neutro 1)

$T(x,0) = 0$ (Absorbente 0)

Mínimo	$T(x,y) = min\{x,y\}$
Producto algebraico	$T(x,y) = xy$

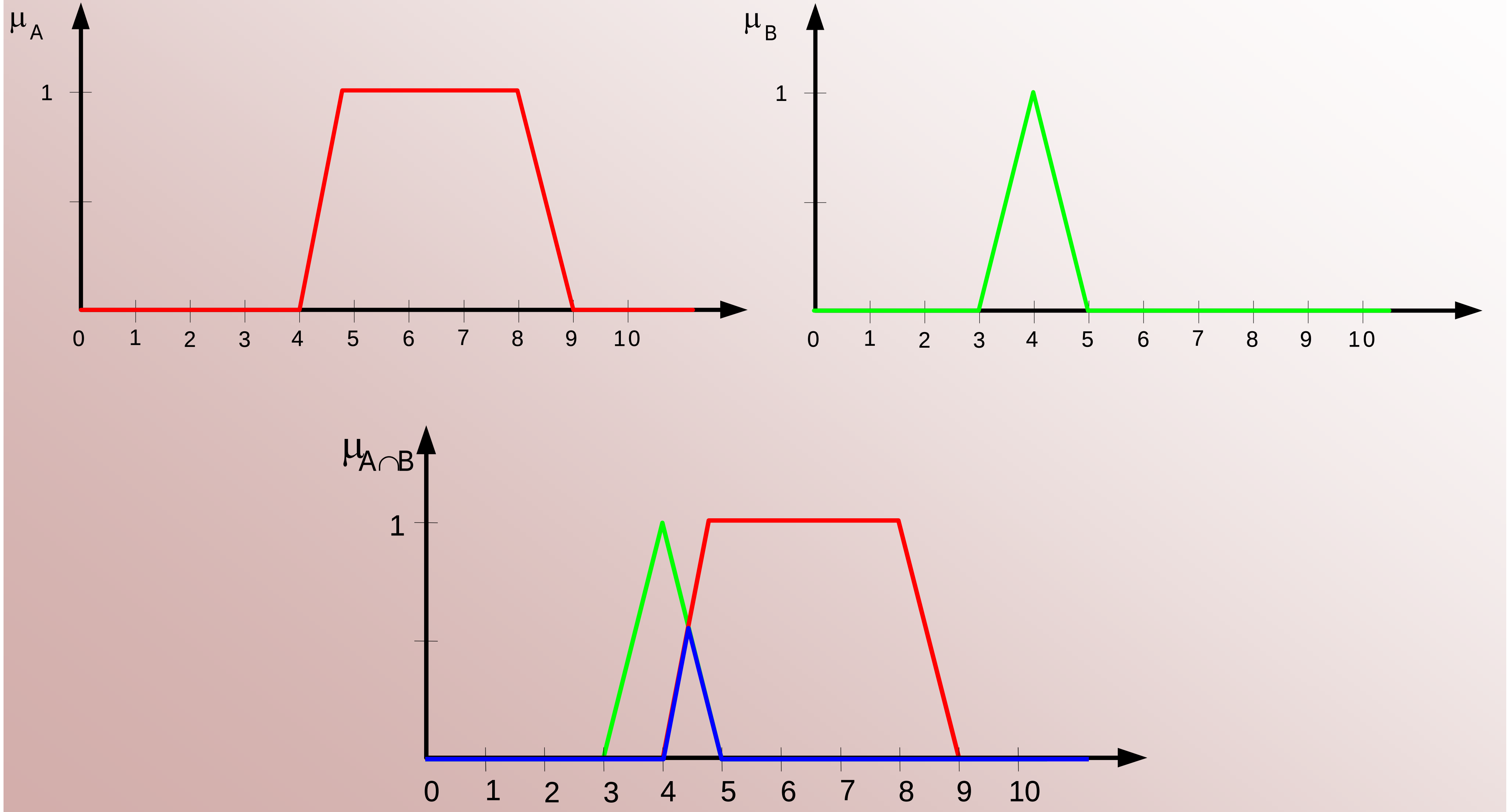
Operaciones con conjuntos borrosos

T-norma X=Y=trapezoide(3,8,12,17)



Operaciones con conjuntos borrosos

T-norma mínimo



Operaciones con conjuntos borrosos

Unión La aplicación u definida por:

$u : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$

$(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad \mu_{A\cup B}(x) = u[\mu_A(x), \mu_B(x)]$, $x \in \mathbf{X}$

Implementa la unión entre los conjuntos borrosos A y B si satisface las siguientes propiedades:

1. $u(x,y) = u(y,x)$ (conmutatividad) $x,y,z \in [0,1]$
2. $u(x,u(y,z)) = u(u(x,y),z)$ (asociatividad)
3. $u(x,y) \leq u(x',y')$, si $x \leq x'$ e $y \leq y'$ (monotonicidad en cada argumento)
4. $u(0,0)=0$; $u(0,1)=u(1,0)=u(1,1)=1$ (condición de contorno)

Operaciones con conjuntos borrosos

- Conorma triangular o S-norma es una generalización de la unión.

$$S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

- Tiene que satisfacer:

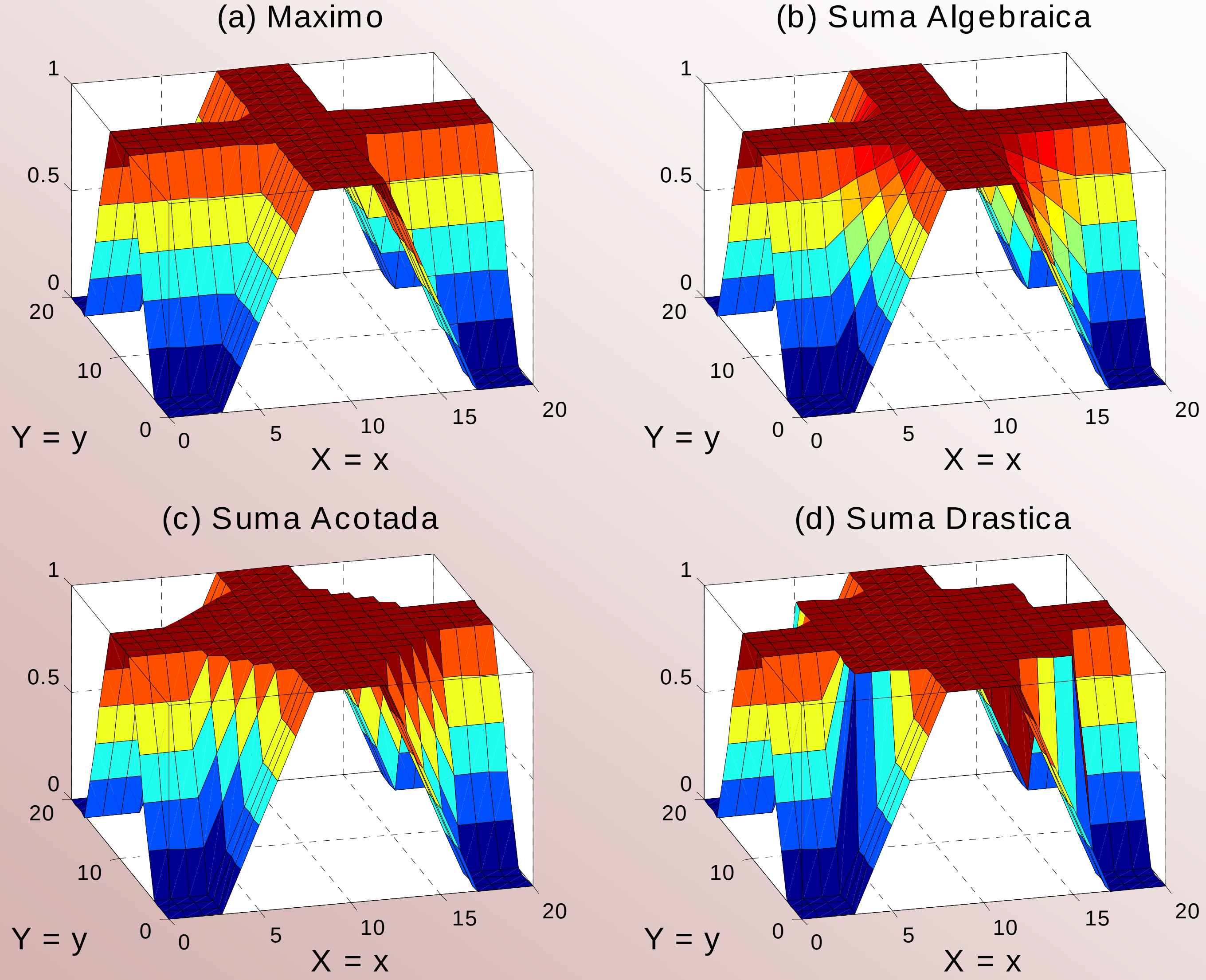
  S(x,0) = x (Neutro 0)

  S(x,1) = 1 (Absorbente 1)

Máximo	$S(x,y) = max\{x,y\}$
Probabilística (suma algebraica)	S(x,y) = x+y-xy

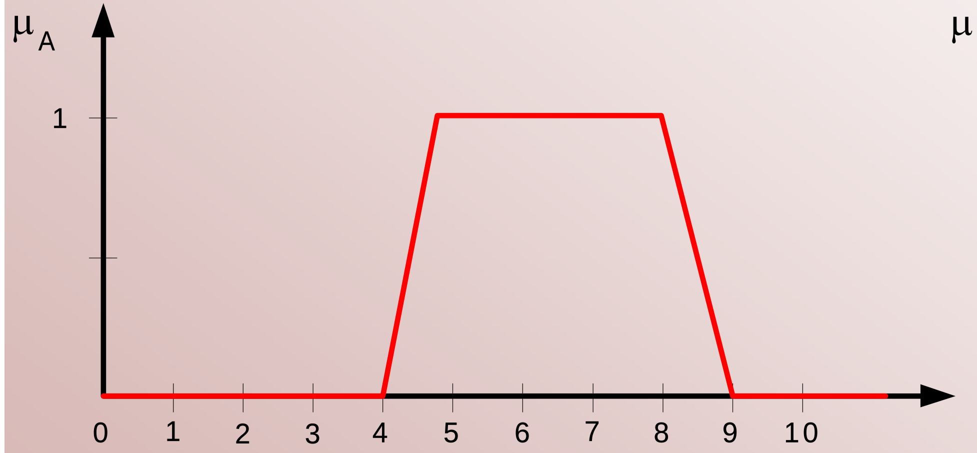
Operaciones con conjuntos borrosos

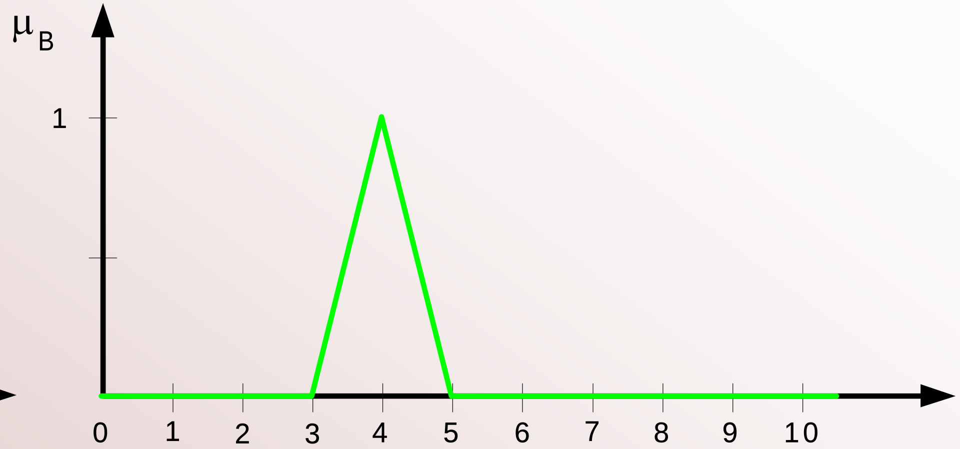
S-norma X=Y=trapezoide(3,8,12,17)

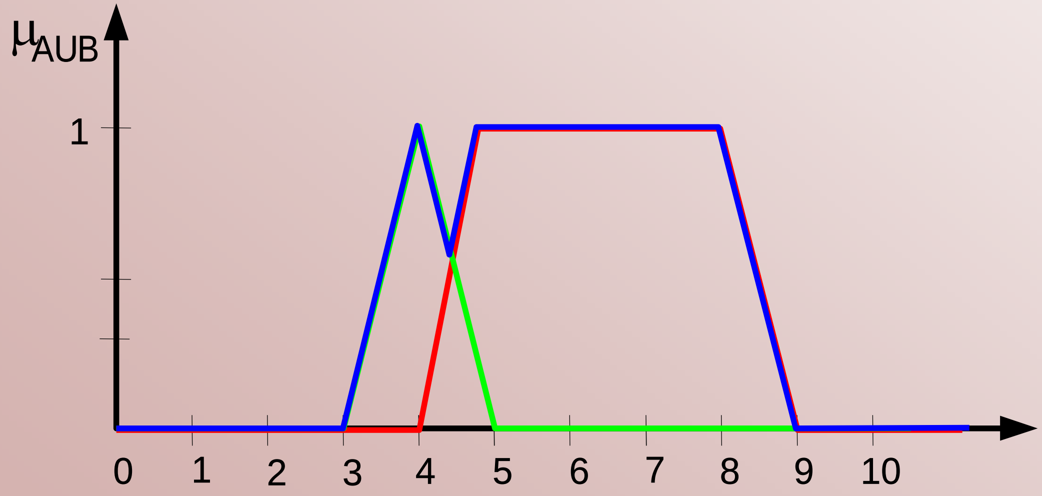


Operaciones con conjuntos borrosos

S-norma máximo







Indice

1. Introducción
2. Conjuntos Borrosos
3. Variables Lingüísticas
4. Definición Lógica Borrosa
5. Operaciones con Conjuntos Borrosos
6. Reglas Borrosas Si-Entonces
7. Razonamiento Borroso
8. Sistema de Inferencia Borrosa
9. Ejemplo

Reglas borrosas

- Una regla borrosa tiene la siguiente forma: (A y B valores lingüísticos)

Si x es A entonces y es B

- Ejemplos:

"Si la presión es alta, entonces el volumen es pequeño"

"Si el caballo es rápido, entonces el caballo es valioso"

"Si la edad es corta, entonces el individuo es joven"

- Para utilizar una regla borrosa es necesario formalizar el significado de la expresión "Si x es A entonces y es B", $A \rightarrow B$.

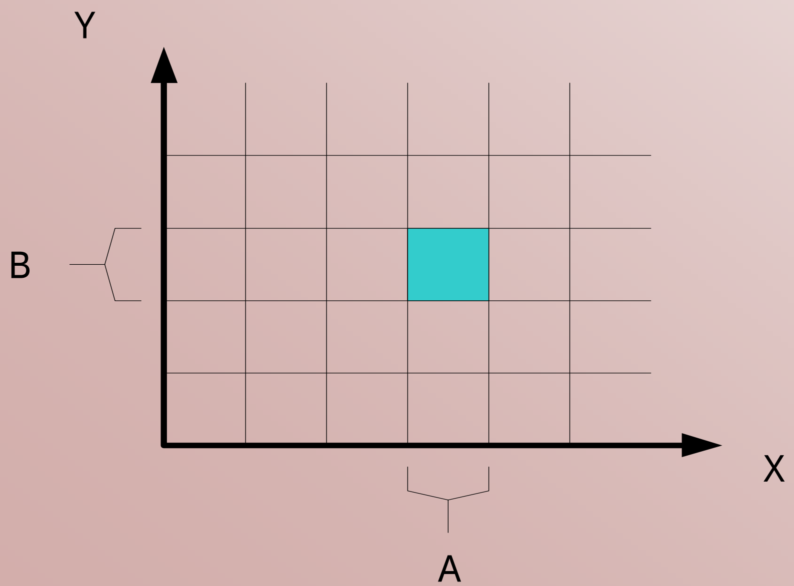
Reglas borrosas

- $R = A \rightarrow B \Rightarrow$ R es un conjunto borroso en 2 dimensiones:

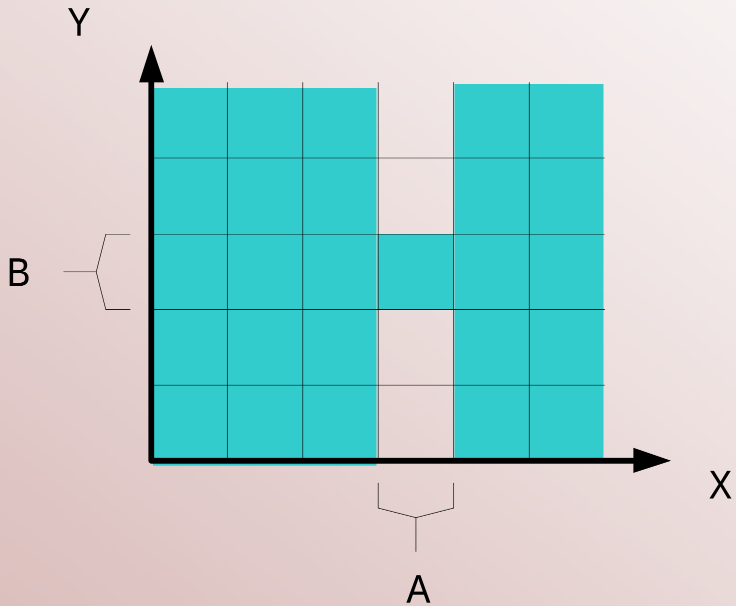
$$\mu_R(x,y) = f(\mu_A(x), \mu_B(y)) = f(a,b)$$

f = función implicación borrosa

1. $A \rightarrow B$ como A está acoplado a B



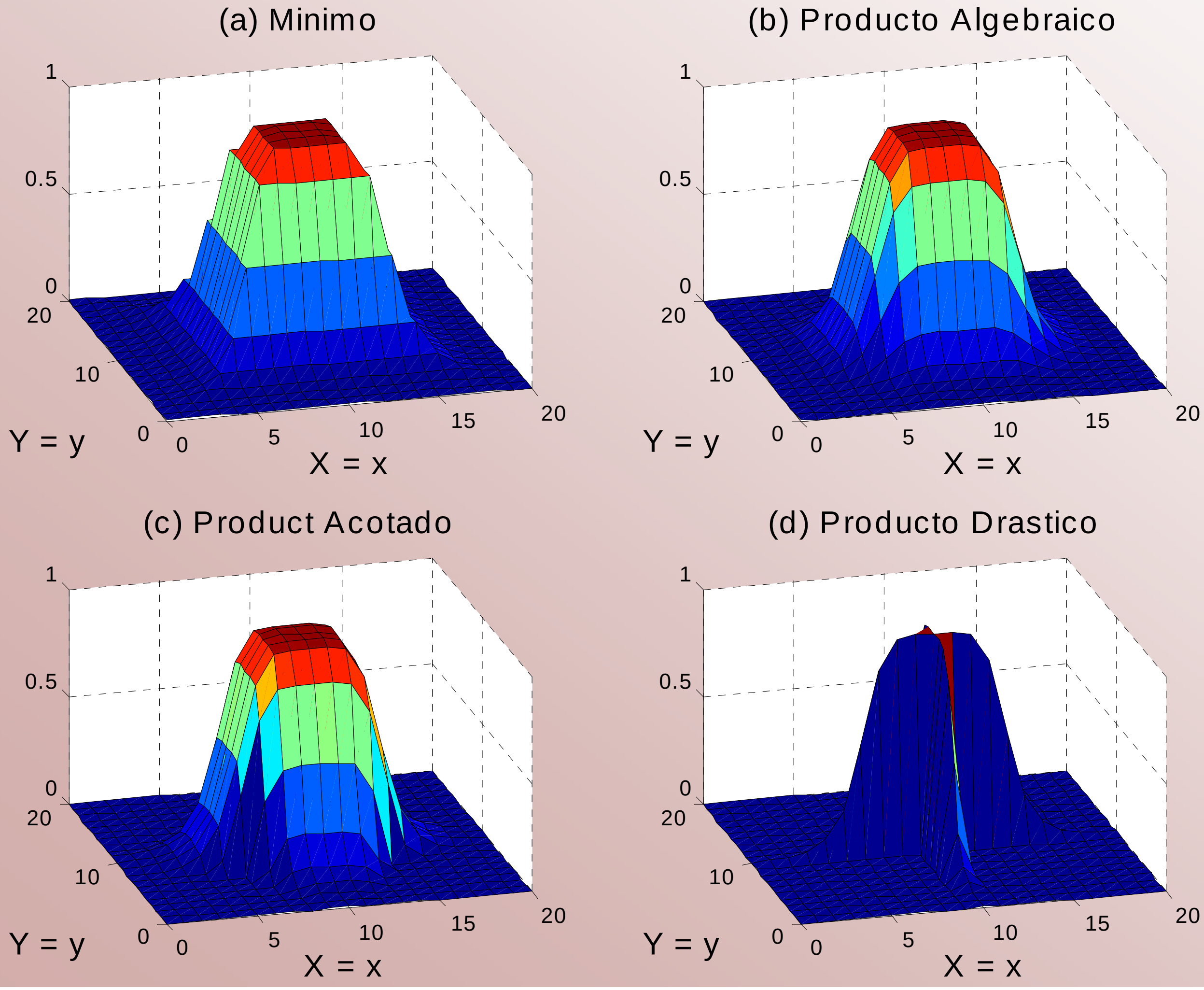
2. $R = A \rightarrow B = \neg A \cup B$



Reglas borrosas

1. $A \to B \Rightarrow$ A está acoplado a B :

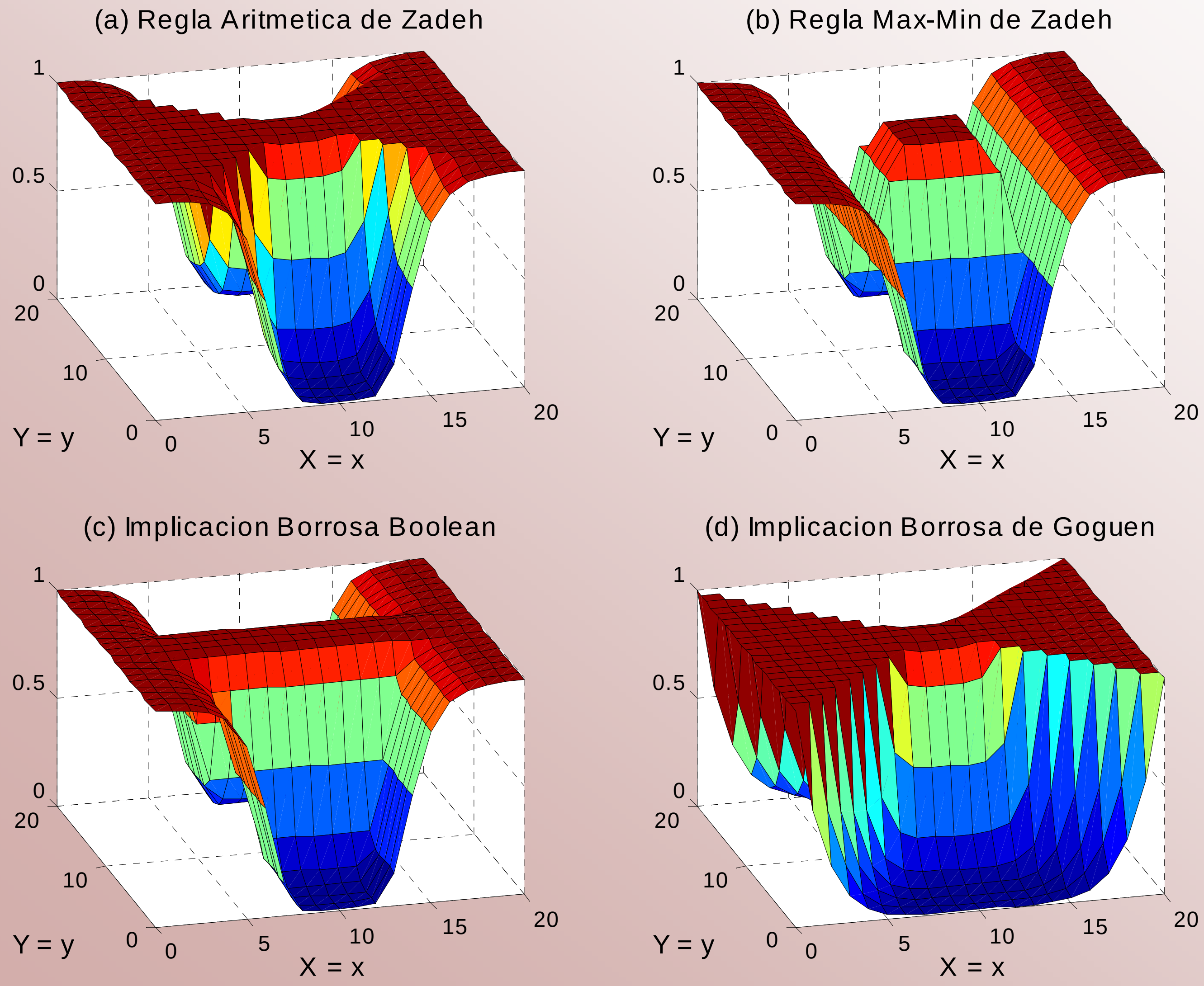
$$\boxed{R = A \to B = \mathbf{T}(\mu_A(x), \mu_B(y))}$$



$\mu_A(x)=\mu_B(y)=$
campana(4,3,10)

Reglas borrosas

2. $R = A \rightarrow B = \urcorner A \cup B$



$\mu_A(x) = \mu_B(y) =$ campana(4,3,10)

Indice

Razonamiento borroso

- El razonamiento borroso: obtener conclusiones a partir de reglas borrosas y hechos borrosos.

Modus Ponens

Premisa 1 (Regla): Si *x* es A ENTONCES *y* es B
Premisa 2 (Hecho): *x* es A

Consecuente (Conclusión): *y* es B

P1: Si *el-caballo* es rápido ENTONCES *el-caballo* es valioso
P2: *el-caballo* es rápido

Consecuente (Conclusión): *el-caballo* es valioso

Razonamiento borroso

Premisa 1 (Regla): Si *x* es A ENTONCES *y* es B
Premisa 2 (Hecho): *x* es A’

Consecuente (Conclusión): *y* es B’

P1: Si *el-caballo* es rápido ENTONCES *el-caballo* es valioso
P2: *el-caballo* es más-o-menos-rápido

(Conclusión): *el-caballo* es más-o-menos-valioso

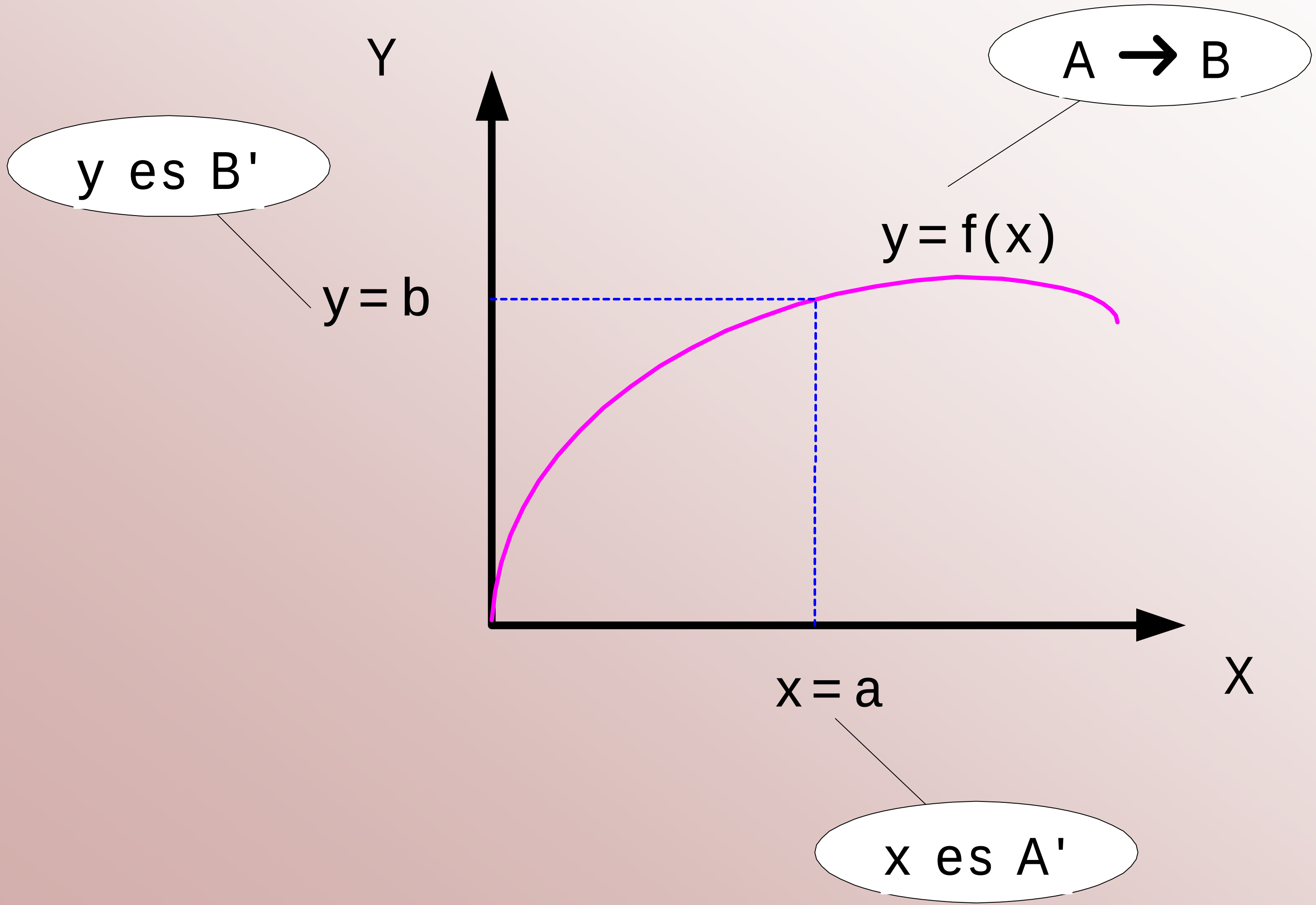
Modus Ponens Generalizado

⇓

regla composicional de inferencia

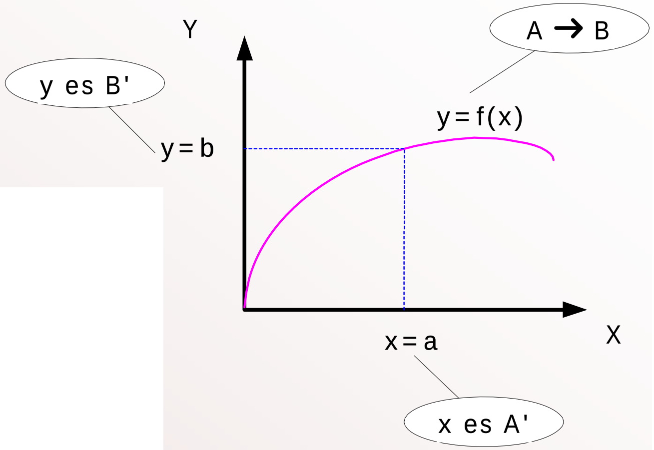
Razonamiento borroso

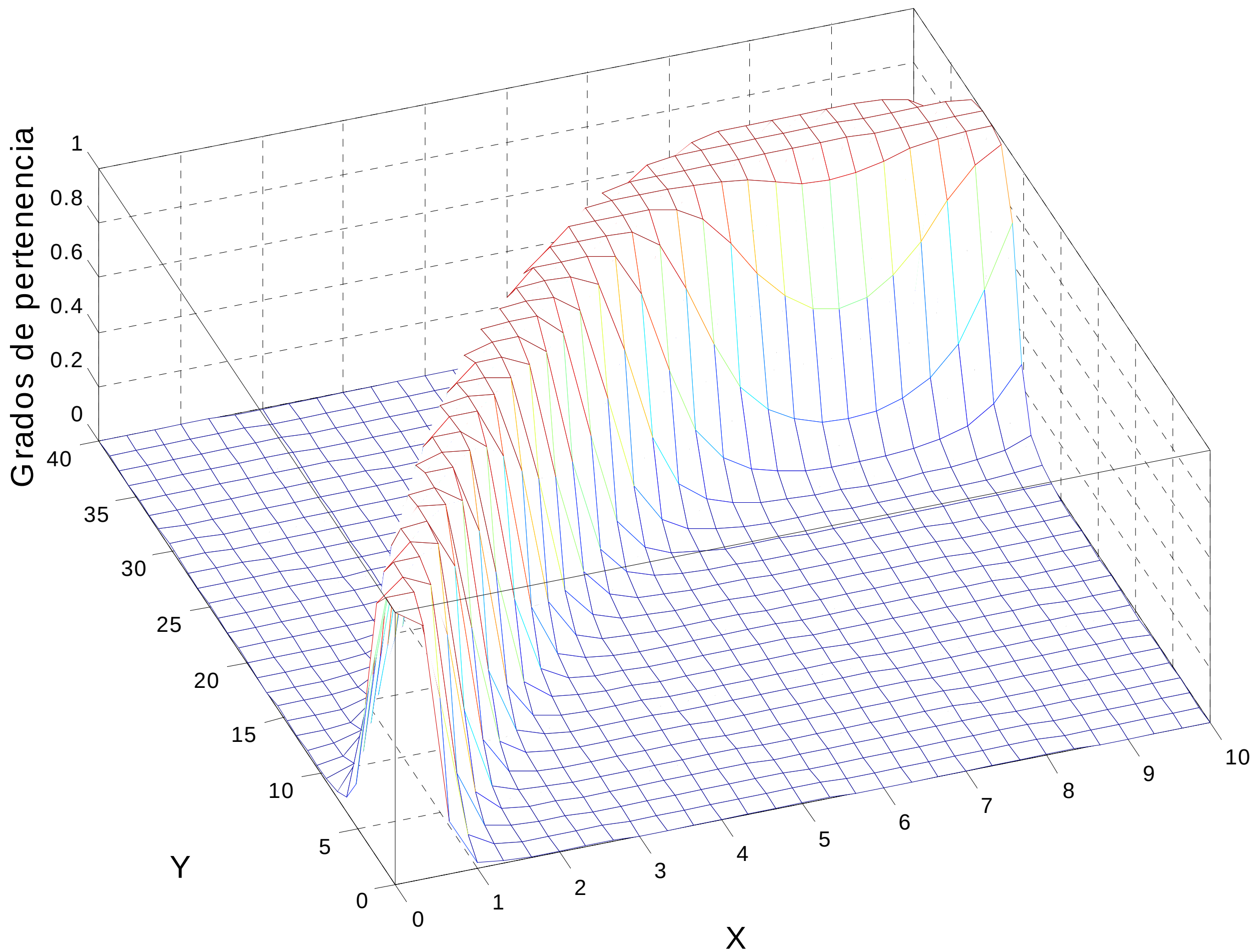
- Regla composicional de inferencia: generalización del concepto de curva



Razonamiento borrosas

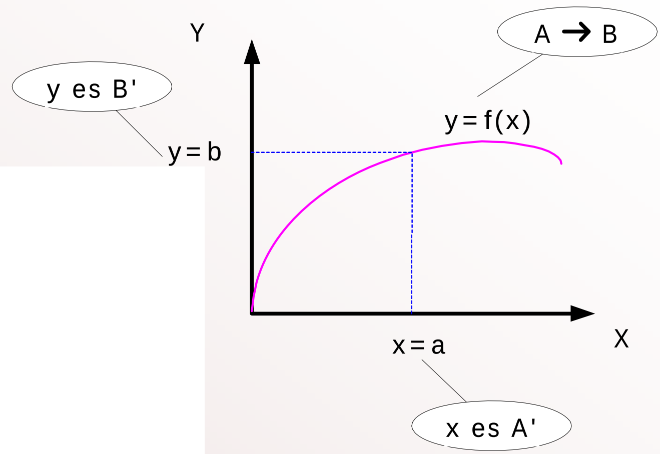
1. Generar la relación borrosa R=A→B

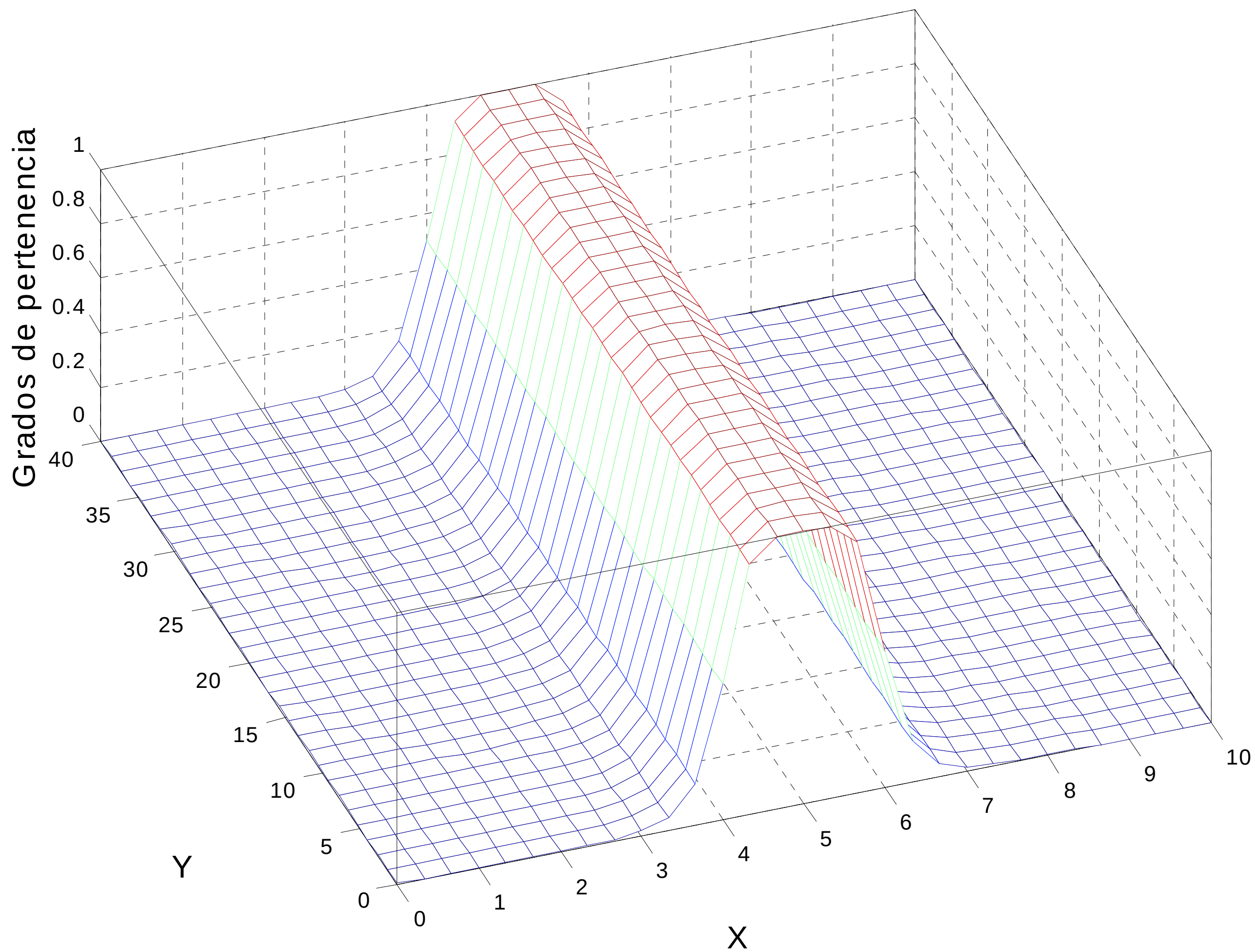




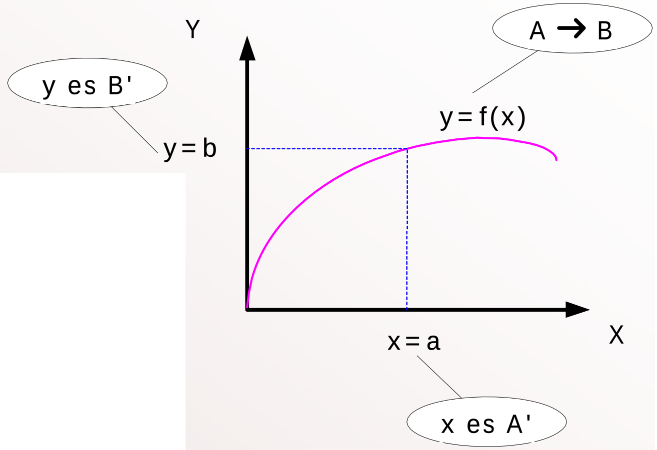
Razonamiento borroso

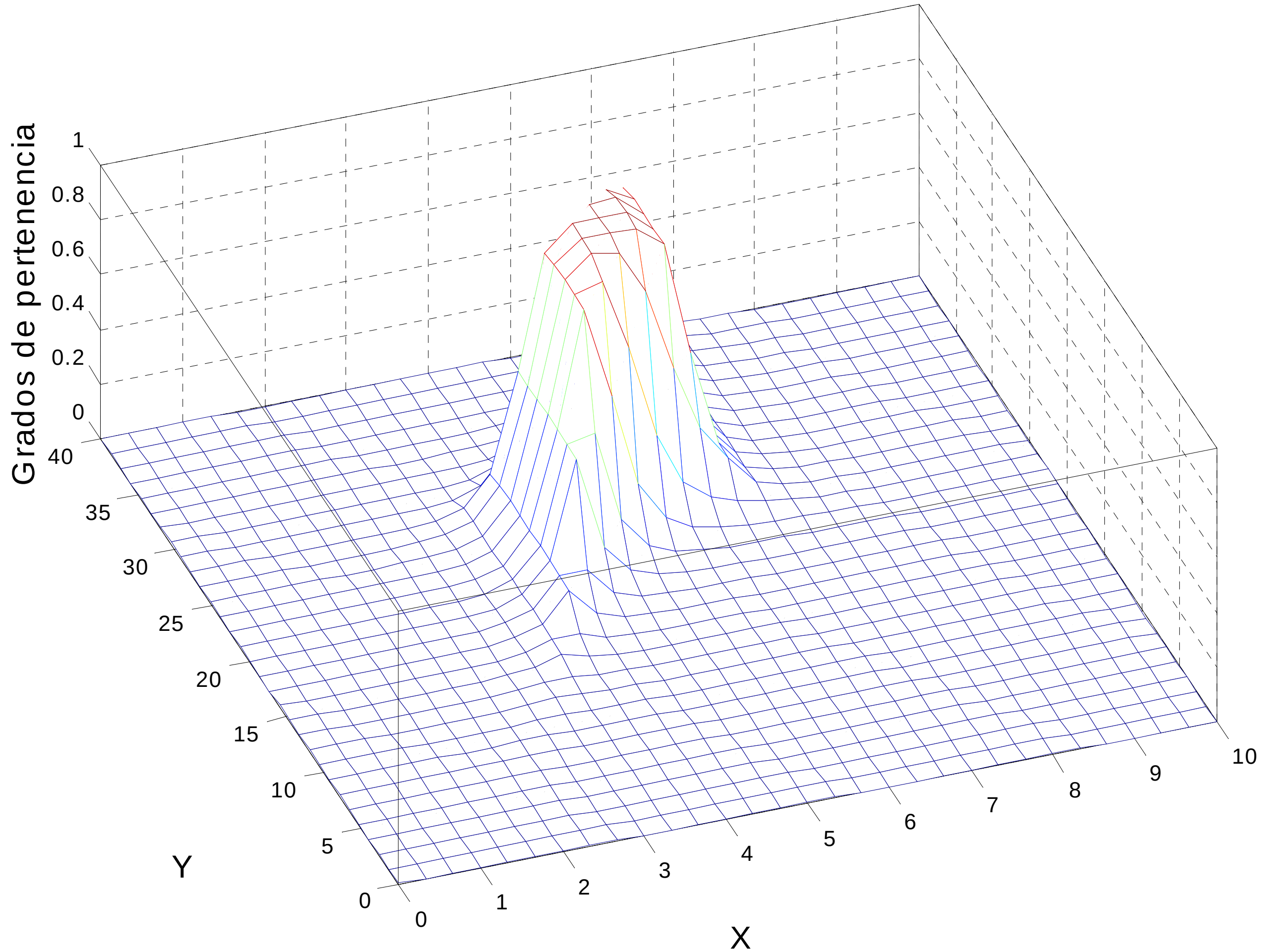
2. Extensión cilíndrica de A' $\Rightarrow$
   $\mu_{c(A)}(x,y) = \mu_A(x)$





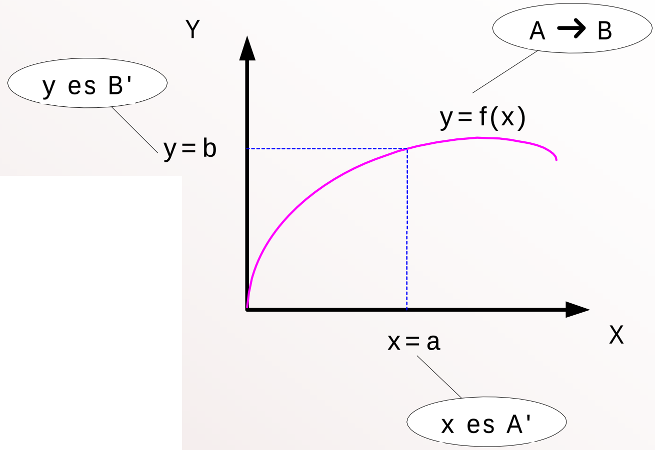
3. Intersección relación borrosa R=A→B y extensión cilíndrica de A’

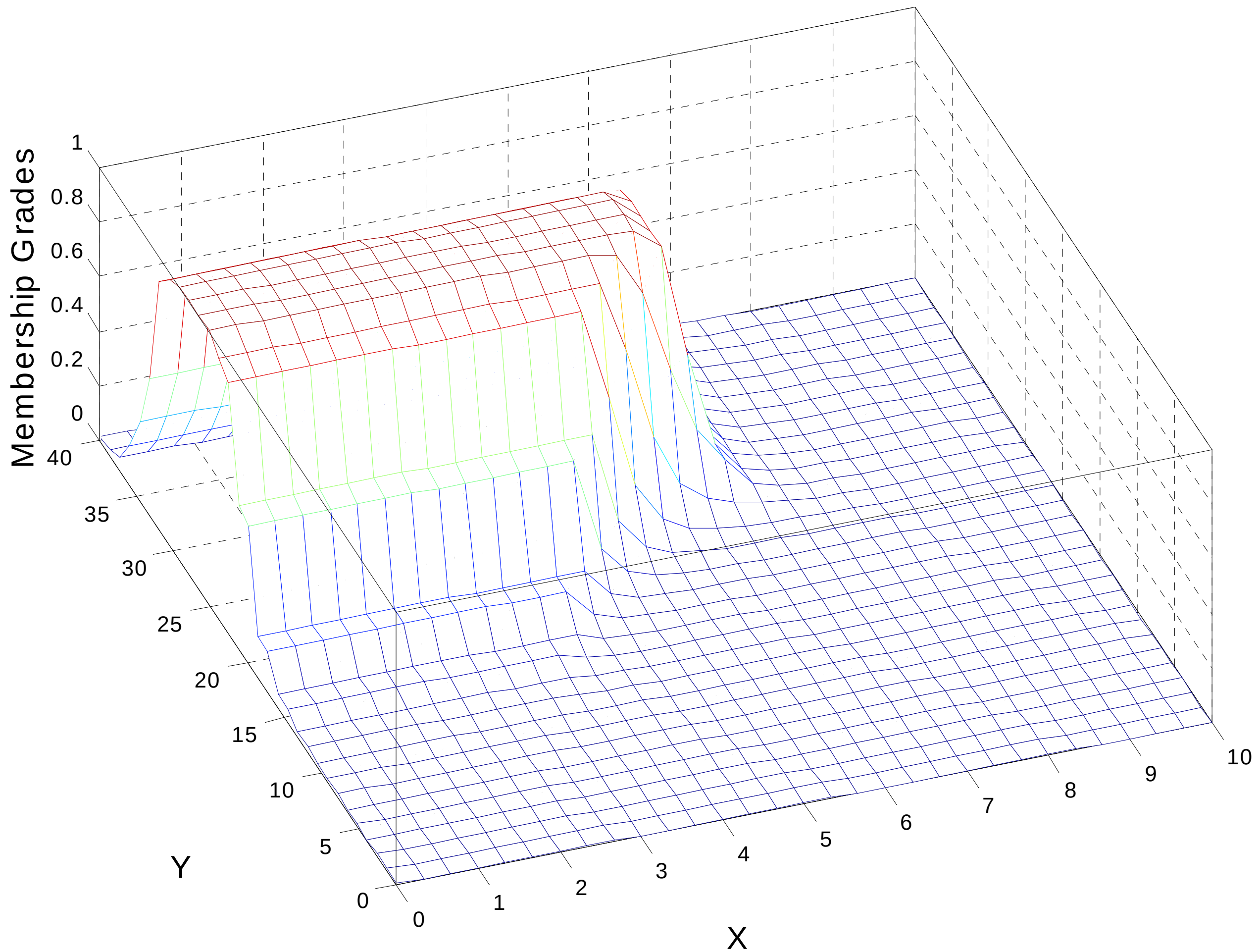




Razonamiento borroso

4. Proyectar intersección sobre eje Y





- **Regla composicional de inferencia:**

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B)$$ ($\circ$ operador composicional)

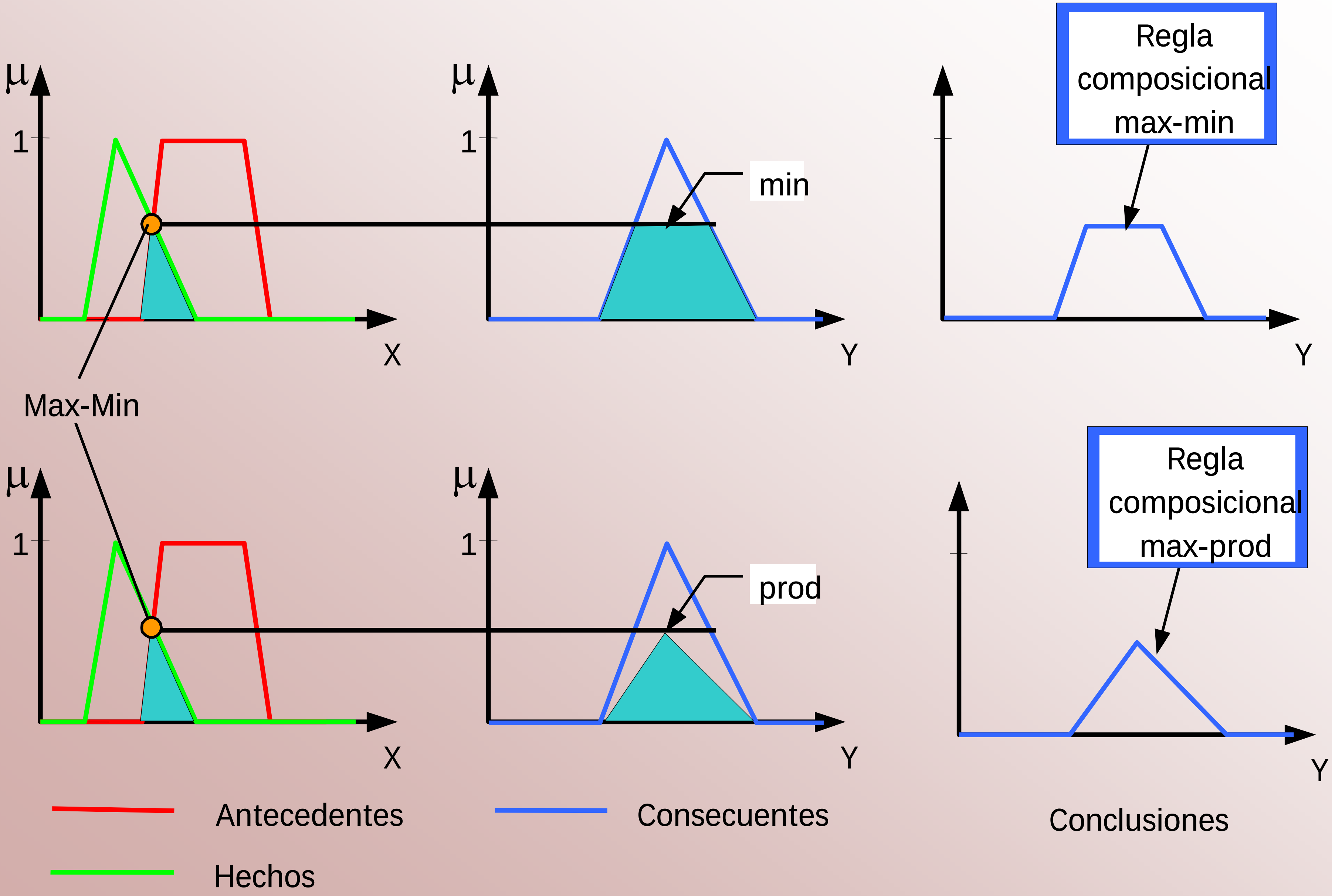
1. Utilizar el mínimo para la intersección de $R \cap c(A')$

$\mu_{B'}(y) = \max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_R(x,y)]$ **composición max-min**

2. Utilizar el producto para la intersección de $R \cap c(A')$

$\mu_{B'}(y) = \max_x[\mu_{A'}(x)\ \mu_R(x,y)]$ **composición max-producto**

Razonamiento borroso



Una regla con un antecedente.

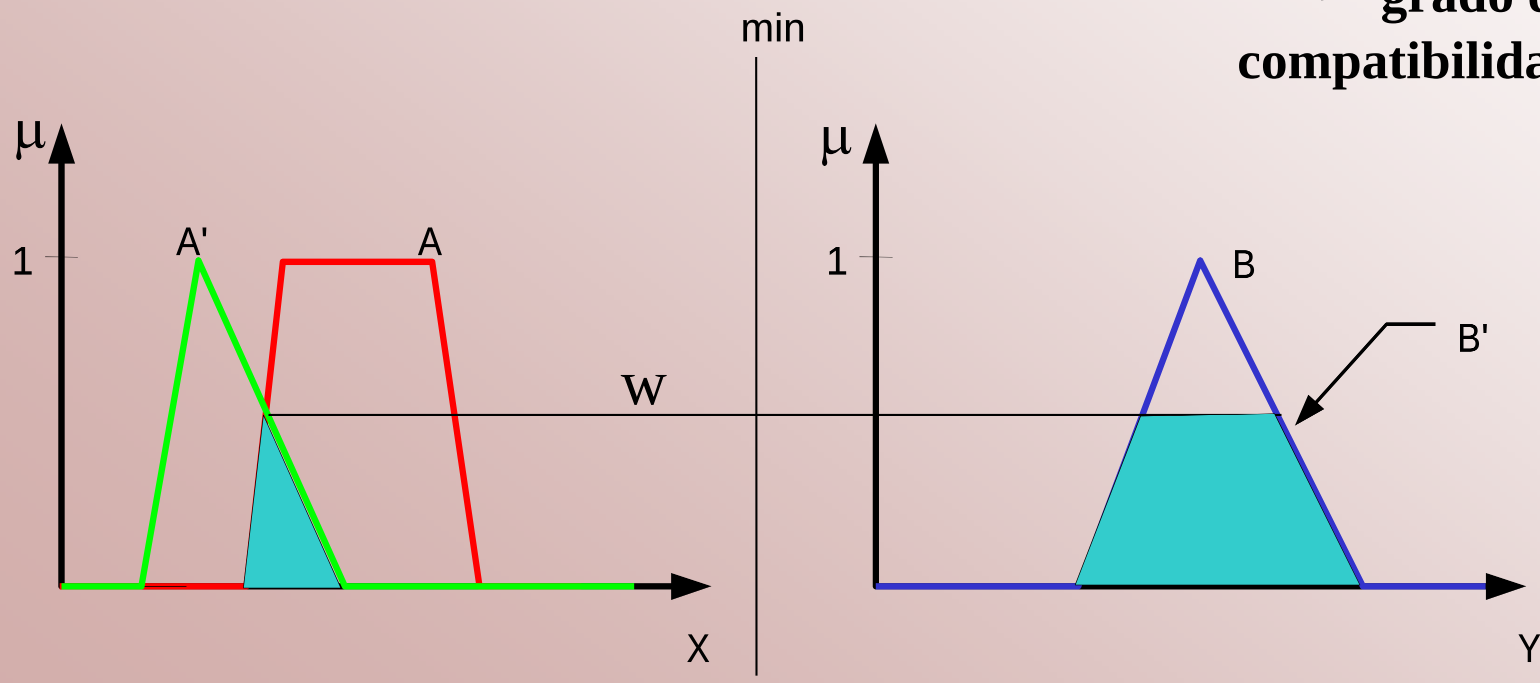
Ej: regla composicional de inferencia max-min

implicación borrosa de Mamdani

$$\mu_{B'}(y)= \max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_R(x,y)]= \max_x \min[\mu_{A'}(x), \min[\mu_A(x), \mu_B(y)]]$$

$$\mu_{B'}(y)= \min\{\max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_A(x)], \mu_B(y)]\}= \min[w, \mu_B(y)]$$

grado de compatibilidad



Razonamiento borroso

- **Una regla con múltiples antecedentes.**

Premisa 1 (Regla): Si *x* es **A** **y** *y* es **B** ENTONCES *z* es **C**

Premisa 2 (Hecho): *x* es A’ **y** *y* es **B’**

Consecuente (Conclusión): *z* es **C’**

$$C' = [A' \circ (A \to C)] \cap [B' \circ (B \to C)]$$

max-min

Mamdani

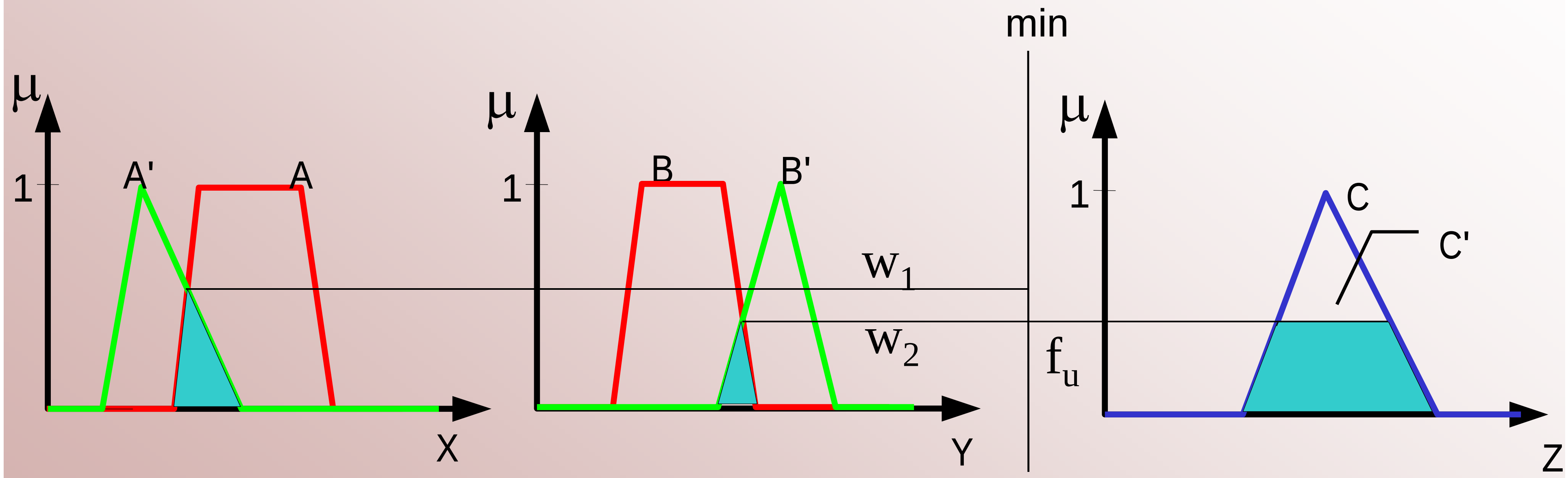
$$\mu_{C'}(z) = \min\{\max_x \min[\mu_{A'}(x), \mu_A(x)], \max_y \min[\mu_{B'}(y), \mu_B(y)], \mu_C(z)\}$$

$$\mu_{C'}(z) = \min[w_{A,A'}, w_{B,B'}, \mu_C(z)]$$

fuerza de disparo

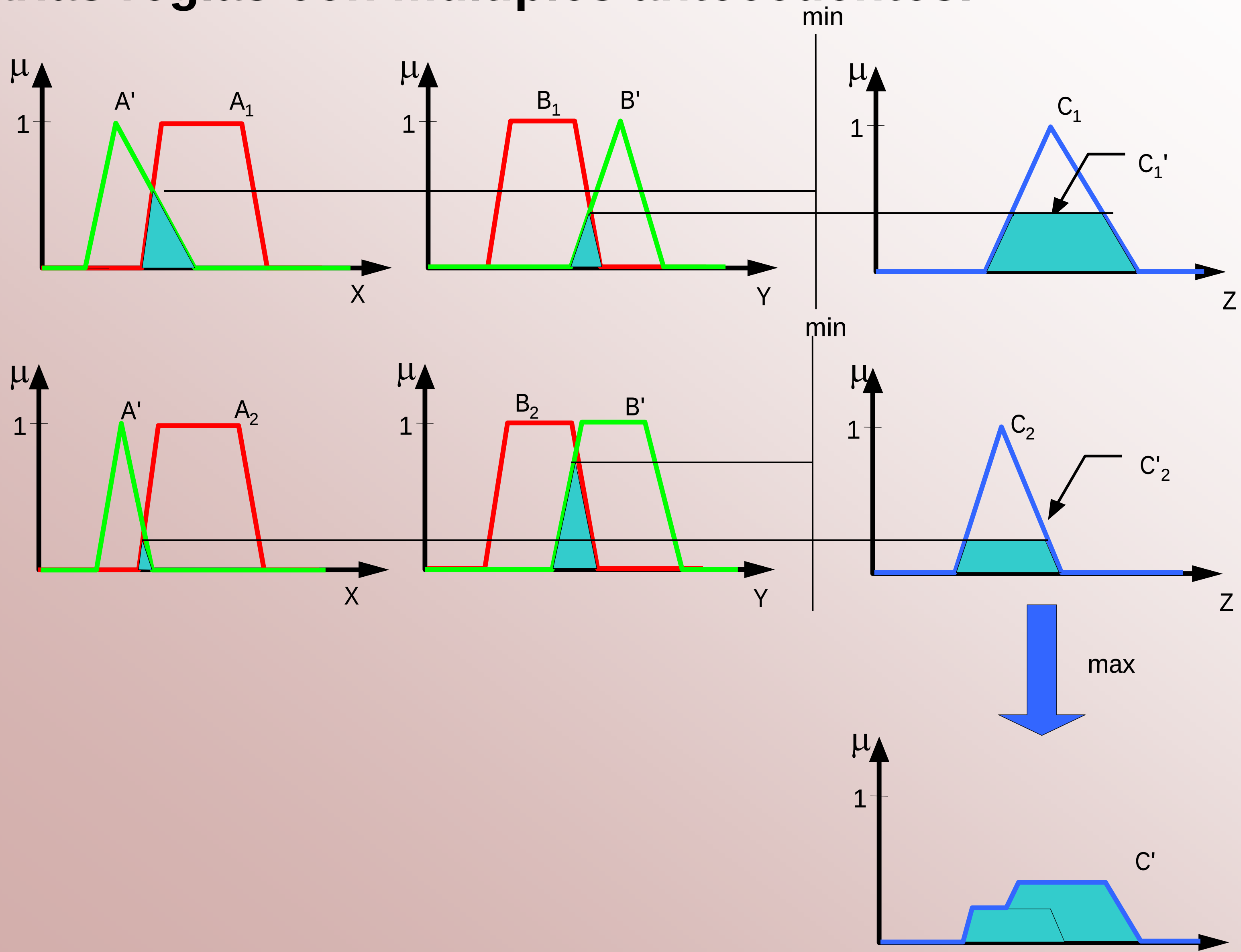
Razonamiento borroso

- **Una regla con múltiples antecedentes.**



Razonamiento borroso

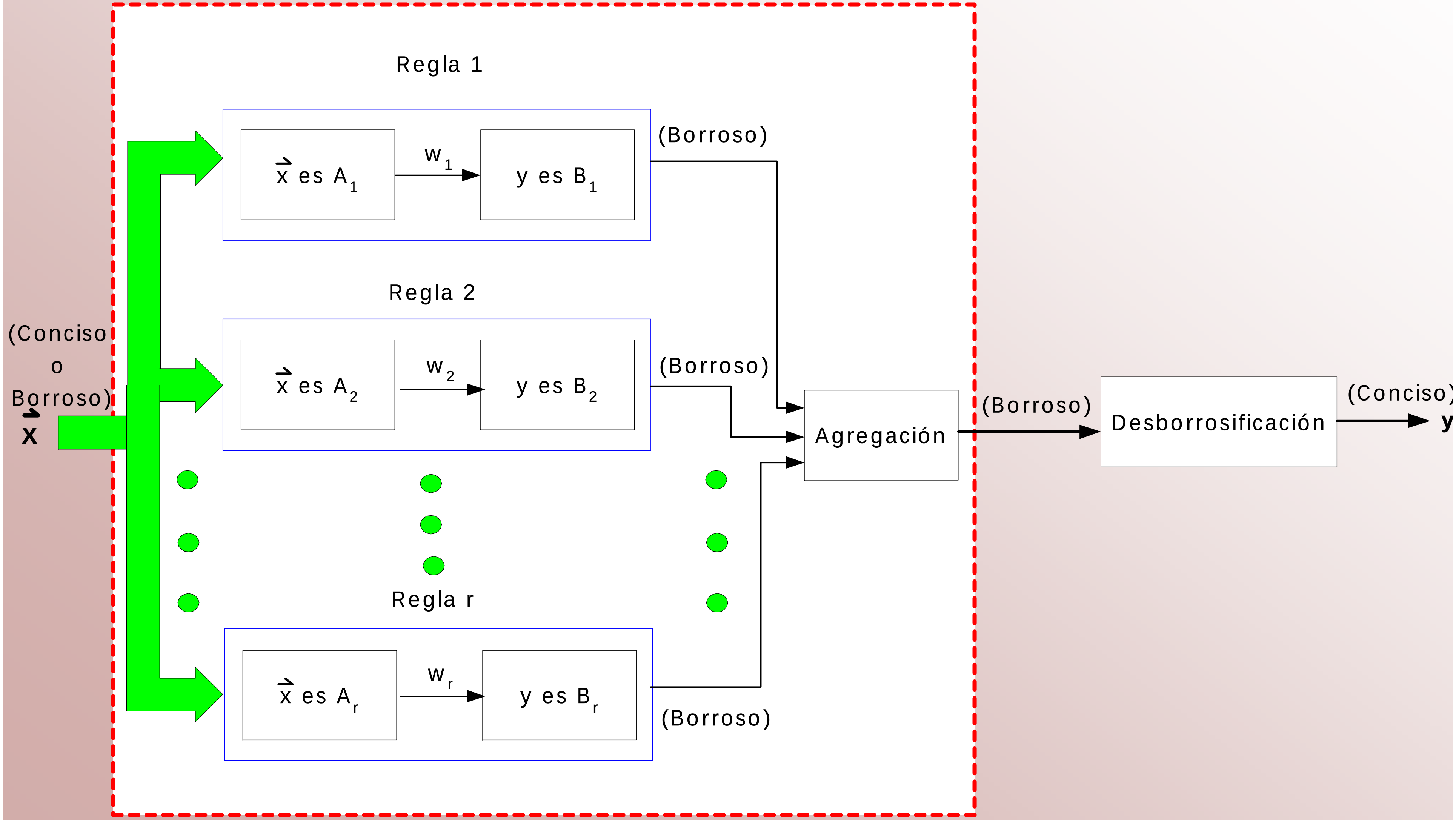
- **Varias reglas con múltiples antecedentes.**



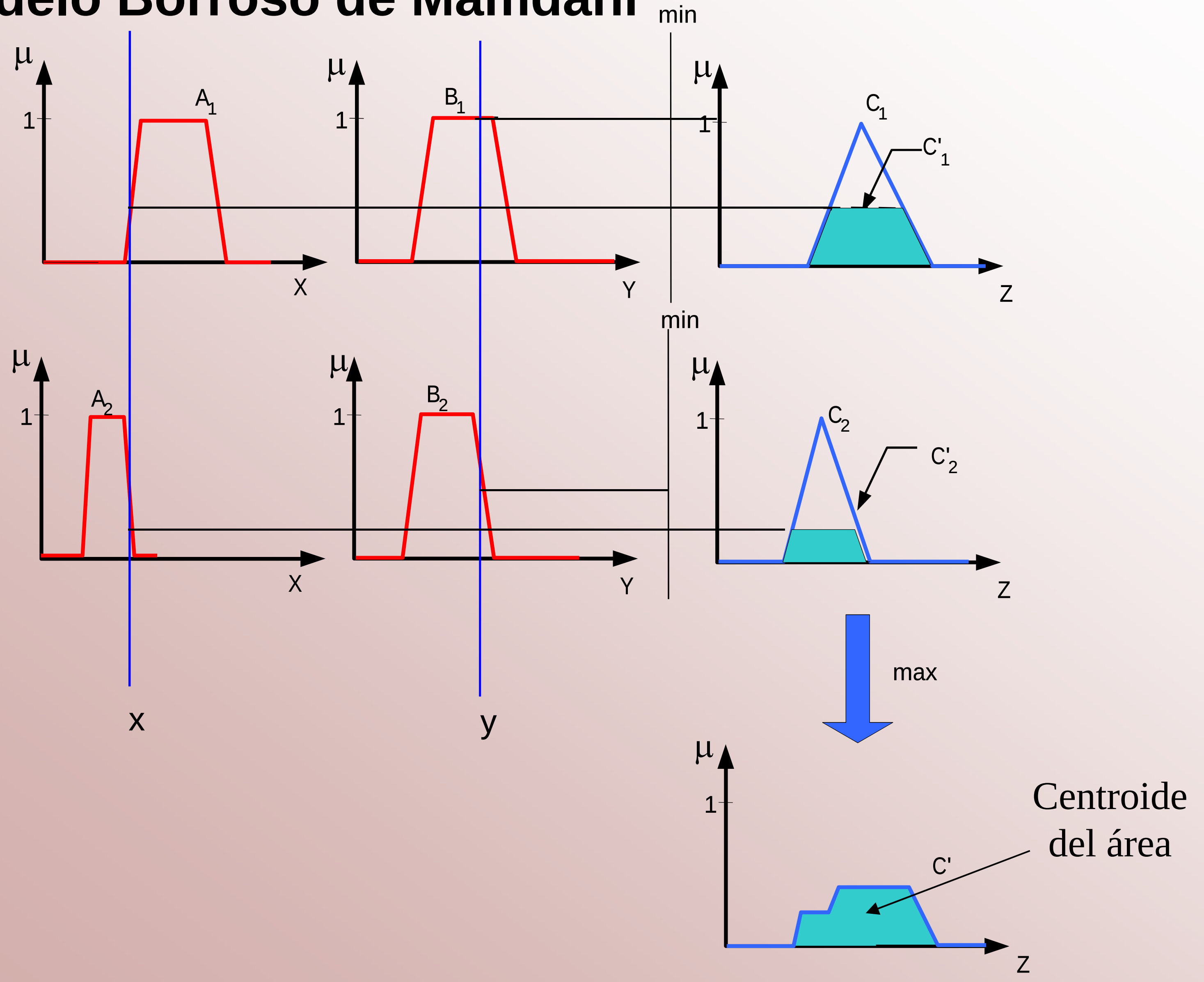
Indice

Sistemas inferencia borrosa

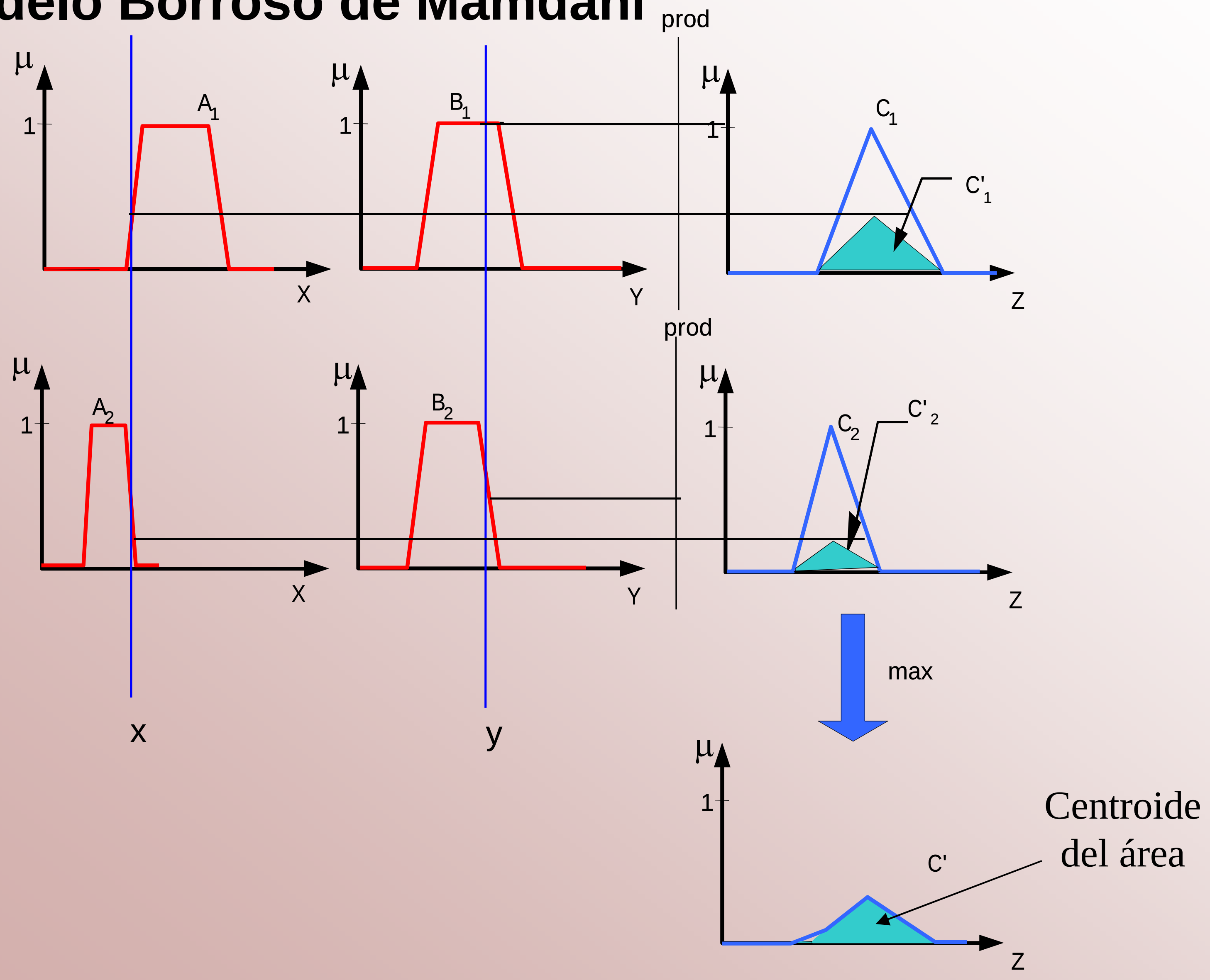
- **Componentes:** Base reglas, diccionario y mecanismo de inferencia.



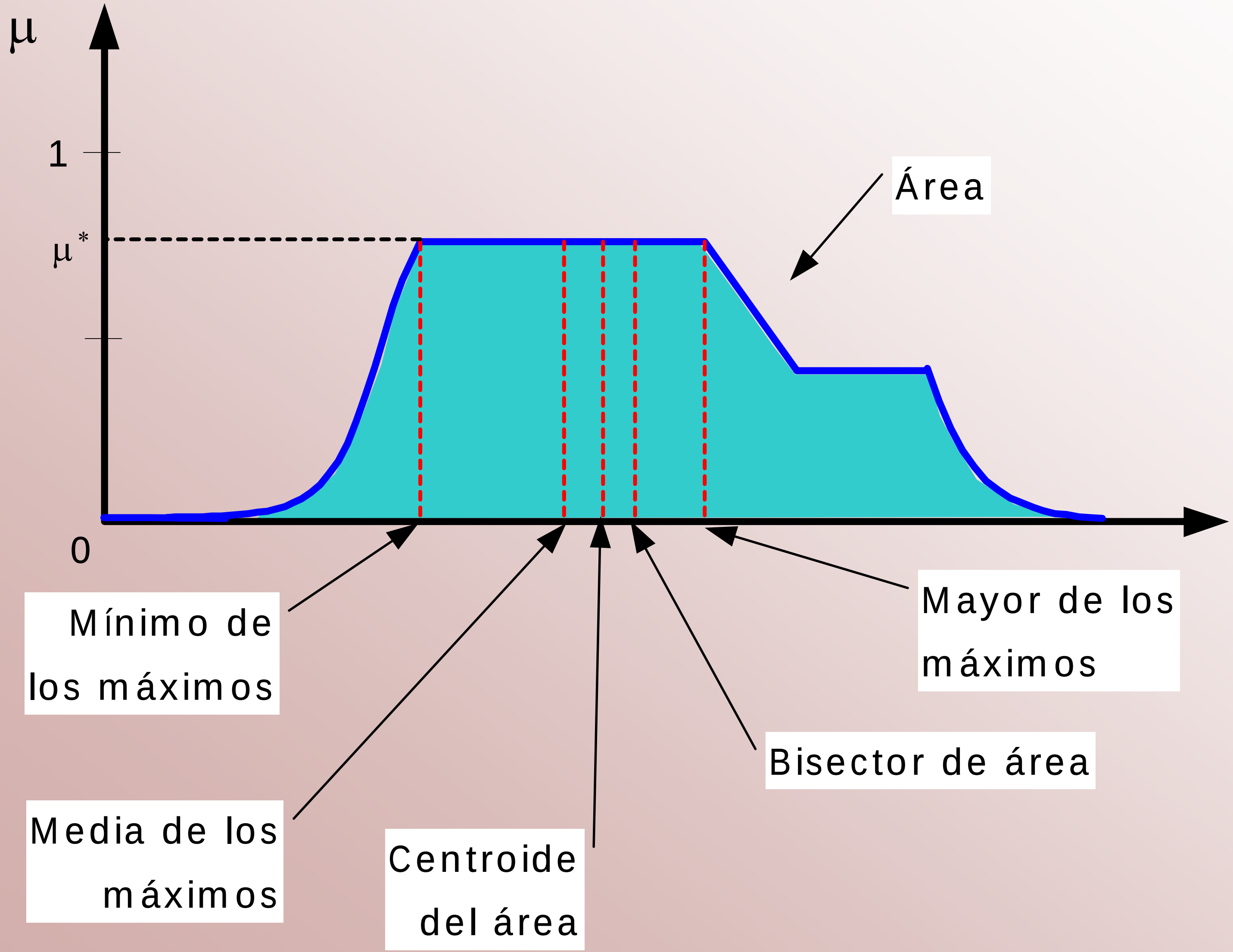
Modelo Borroso de Mamdani



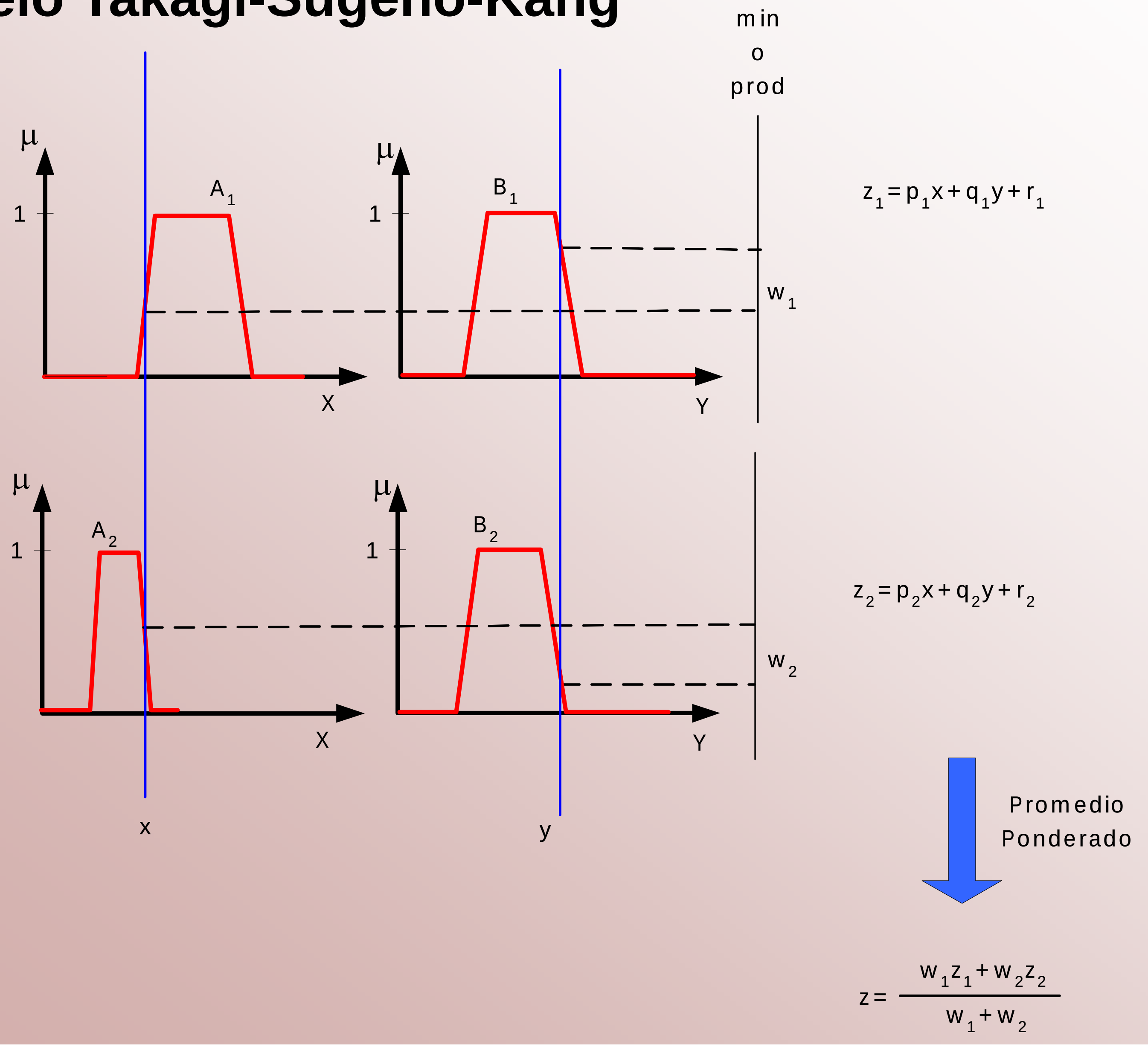
Modelo Borroso de Mamdani



Desborrosificación



❑Modelo Takagi-Sugeno-Kang

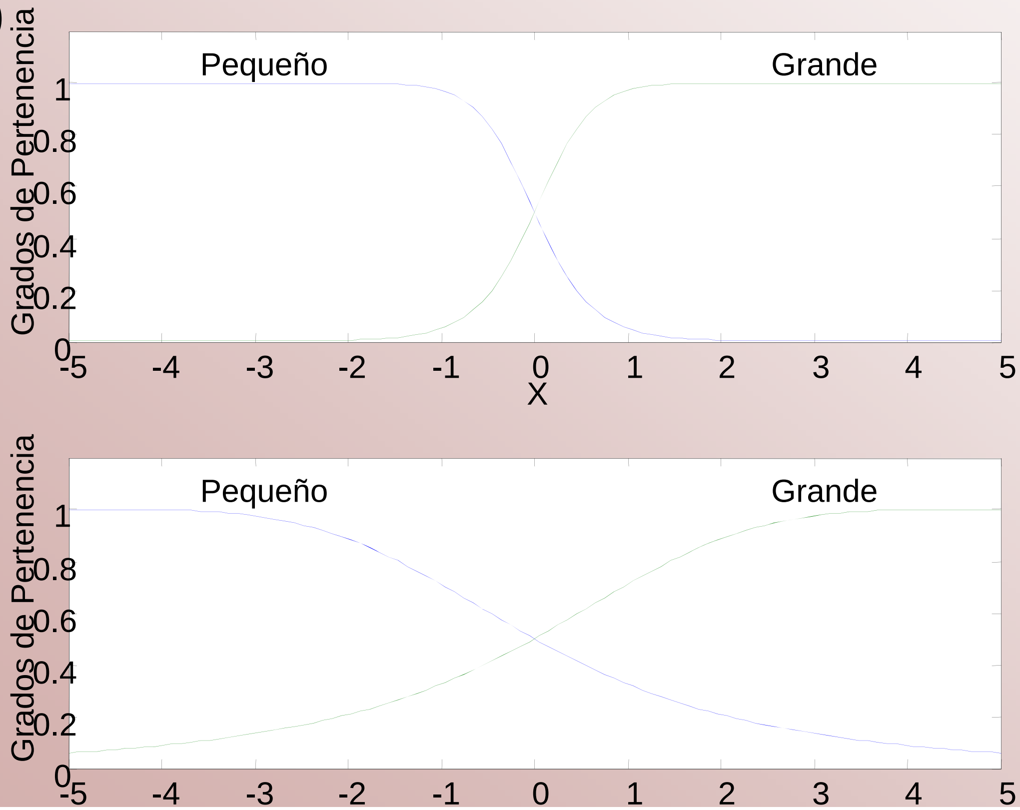


Sistemas inferencia borrosa

Ej: Sistema borroso TSK (2 entradas y 4 reglas)

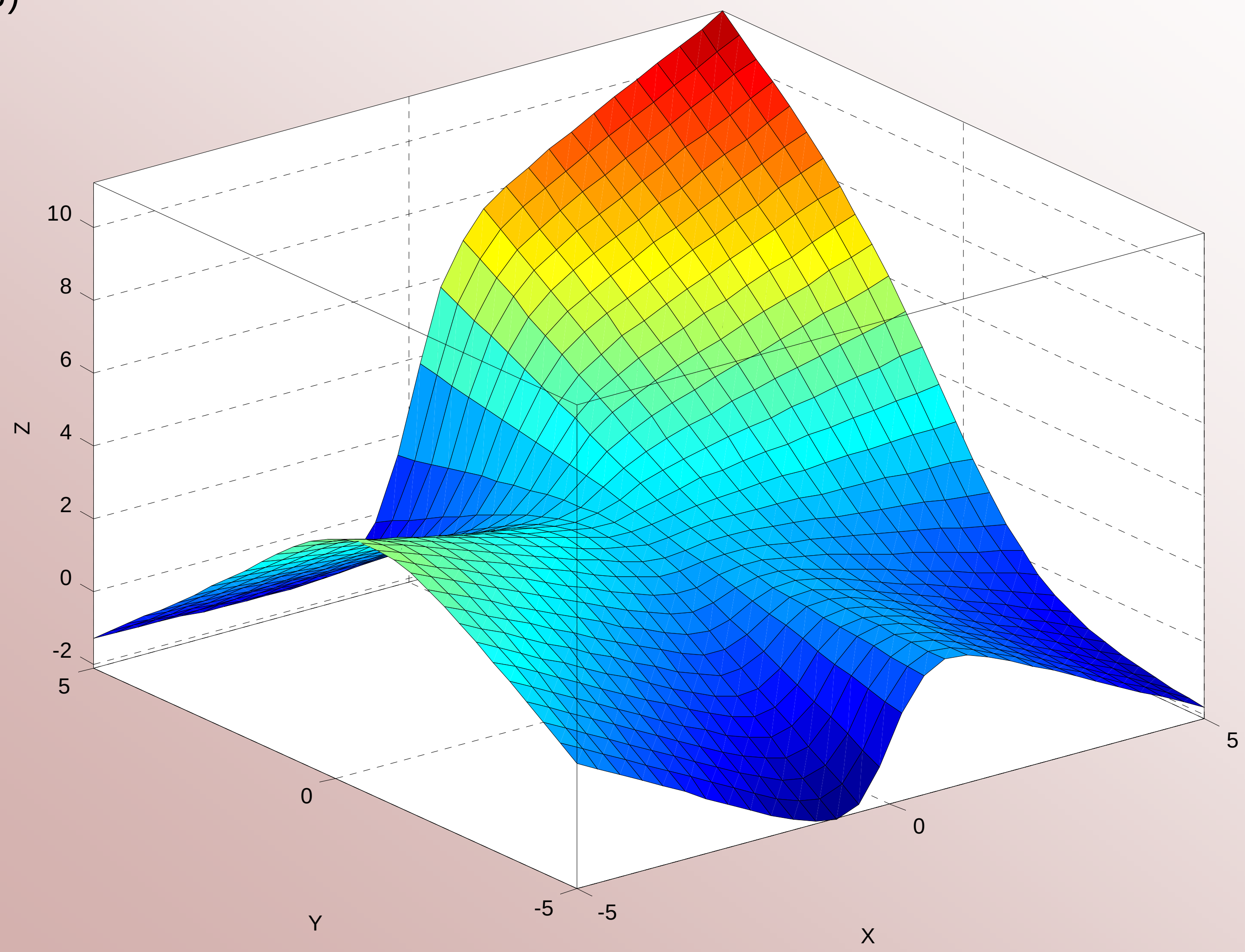
- Si **X** es *pequeño* y **Y** es *pequeño* entonces z=-x+y+1
- Si **X** es *pequeño* y **Y** es *grande* entonces z=-y+3
- Si **X** es *grande* y **Y** es *pequeño* entonces z=-x+3
- Si **X** es *grande* y **Y** es *grande* entonces z=x+y+2

a)



- **Ej: Sistema borroso TSK** (2 entradas y 4 reglas)

b)



Indice

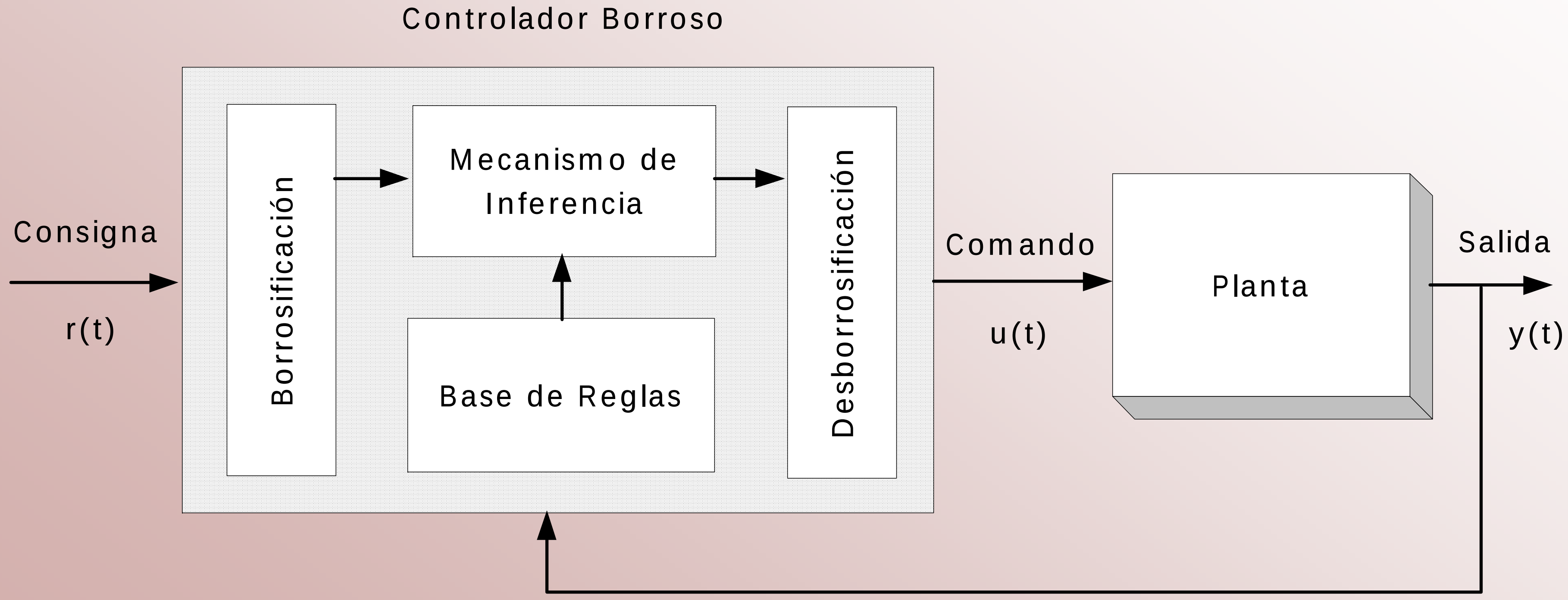
Control Borroso

- **Problema:** Sistemas cuyo conocimiento es a base de reglas poco precisas. $\Rightarrow$ Complejidad del sistema

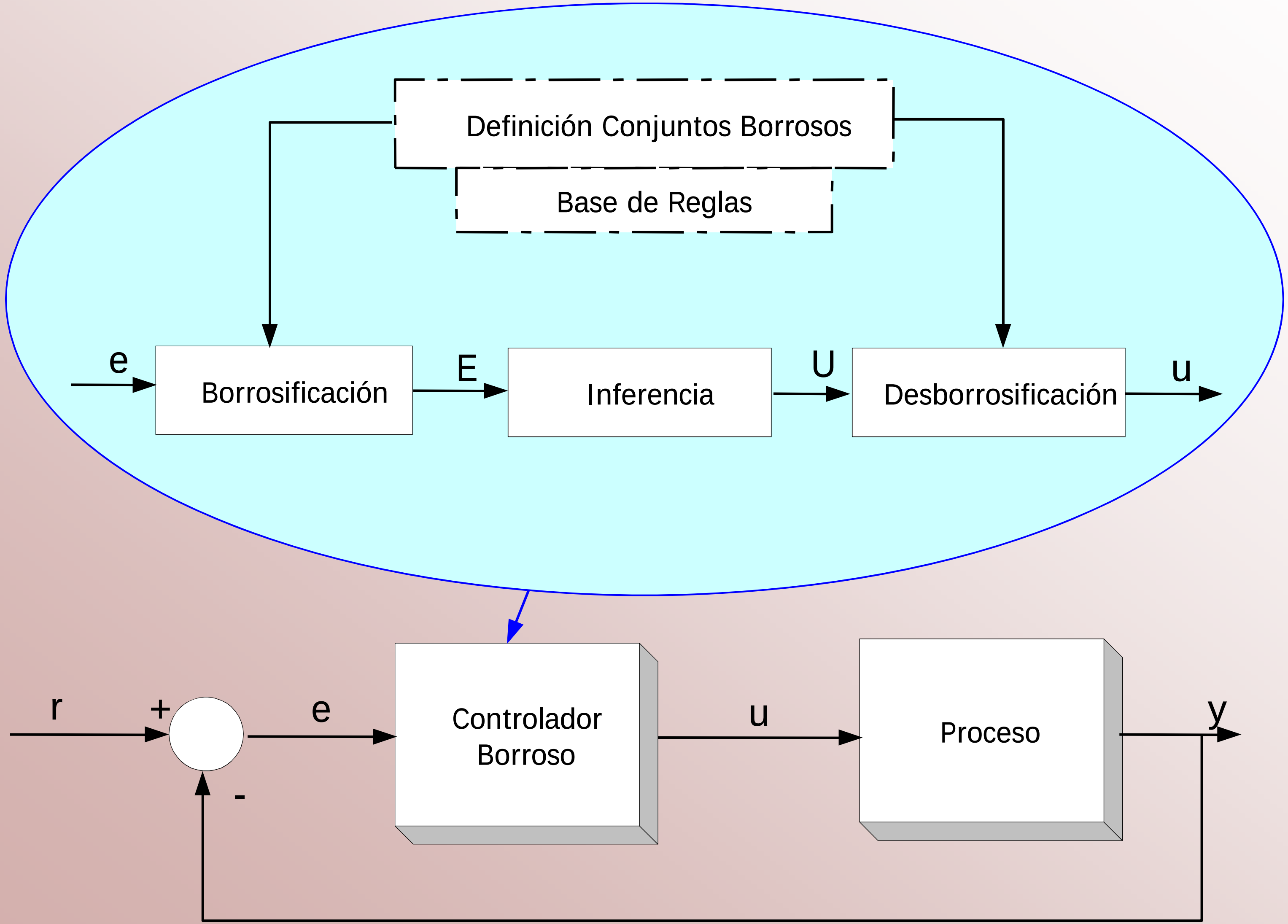
- **Método:** reducir la complejidad aumentando la incertidumbre sobre las variables

- **Componentes:**
  - Base de conocimiento.- reglas que modelan las acciones de control
    - Antecedente y Consecuente: variables lingüísticas
  - Mecanismo de inferencia

❑Esquema de un control borroso



Esquema:



Definición Conjuntos Borrosos
Base de Reglas
e
Borrosificación
E
Inferencia
U
Desborrosificación
u
r
+
e
Controlador Borroso
u
Proceso
y
-

Procedimiento:

- Etapa 1 (off-line)
  - Establecimiento de las variables de entrada y salida del controlador (variables lingüísticas)
  - Def. conjuntos borrosos de cada variable
  - Def. funciones de pertenencias de los conjuntos
  - Establecimiento de la base de reglas
  - Def. del mecanismo de desborrosificación

Procedimiento:

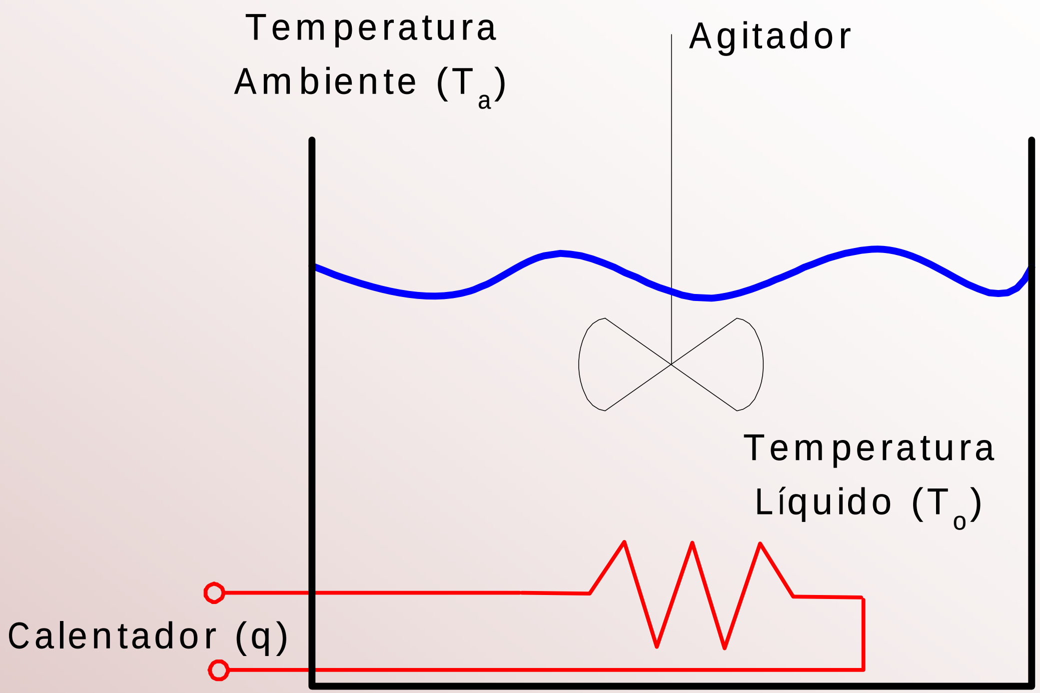
- Etapa 2 (on-line)
  - Obtener los valores concisos de las entradas
  - Borrosificación: asignación de los valores concisos a los conjuntos difusos de entrada y cálculo del grado de pertenencia a cada uno de esos conjuntos.
  - Inferencia: Aplicación de la base de reglas y cálculo de los conjuntos difusos de salida inferidos de los conjuntos de entrada
  - Desborrosificación: cálculo de los valores concisos (comando) de salida a partir de los conjuntos difusos inferidos.

- **Ejercicio:** control de temperatura

$$\frac{T_o(s)}{Q(s)} = G_1(s) + G_2(s)$$

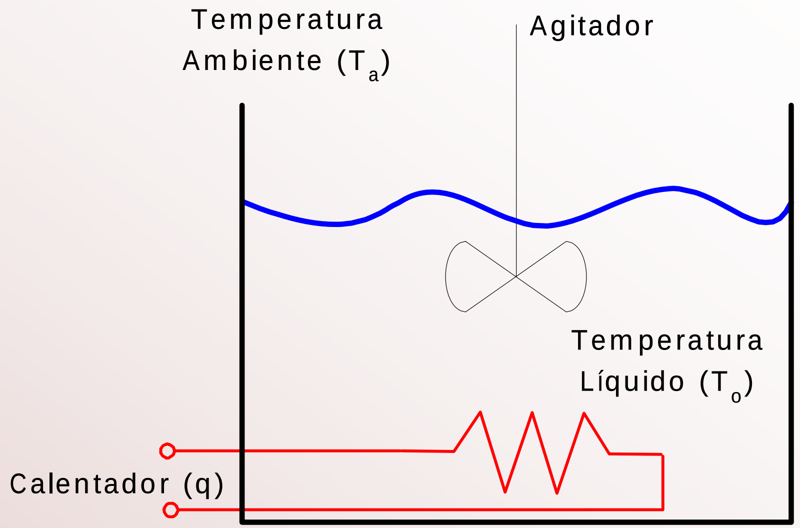
$$G_1(s) = \frac{T_o(s)}{Q(s)} = \frac{\frac{1}{\mu A}}{\frac{MC_e}{\mu A}s + 1}$$

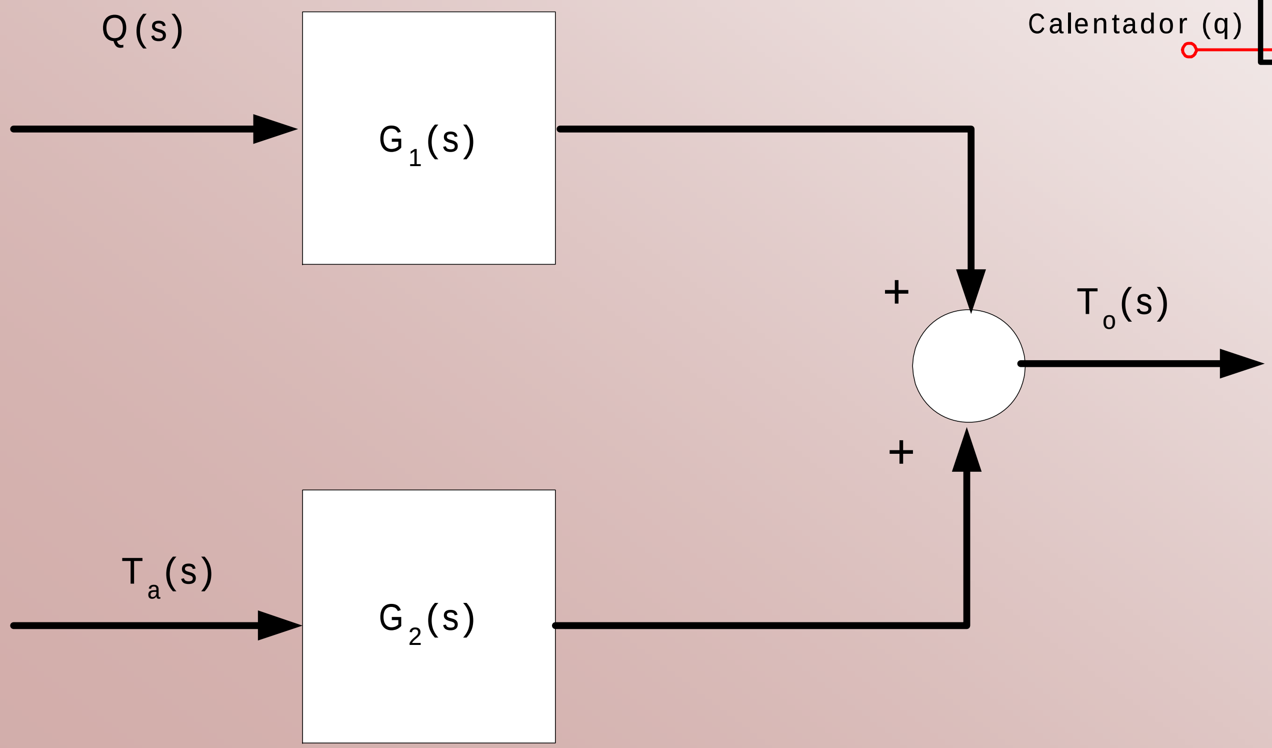
$$G_2(s) = \frac{T_o(s)}{T_a(s)} = \frac{1}{\frac{MC_e}{\mu A}s + 1}$$



M: Masa del líquido
C_e: Calor específico
μ: coeficiente de transferencia
A: área de transferencia de energía
T_o: temperatura del líquido
T_a: temperatura ambiente
Q: energía suministrada

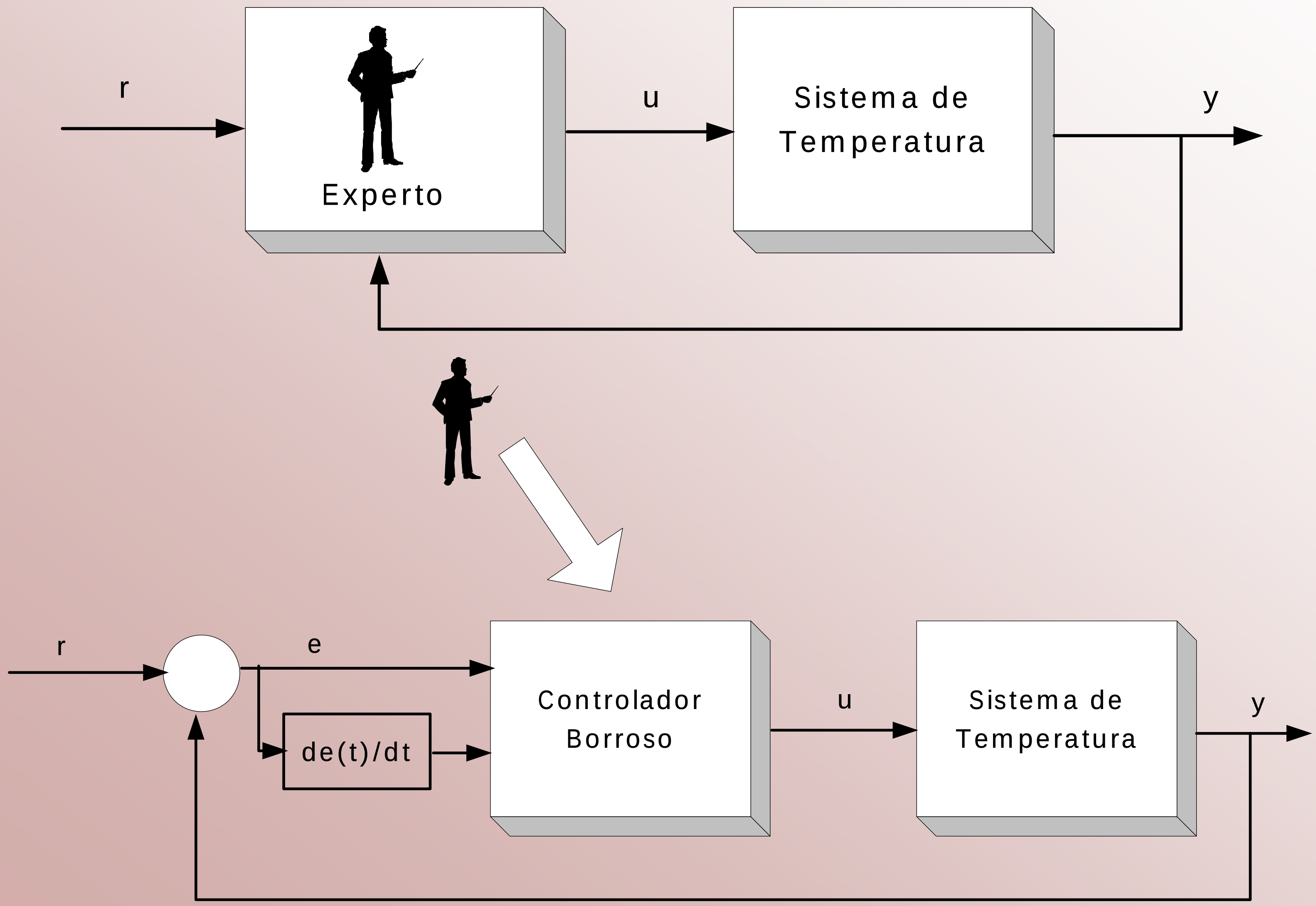
- **Ejercicio:** control de temperatura





Control Borroso

- Elección de las Entradas y Salidas en el Controlador Borroso



- Inclusión del conocimiento de control en la Base de Reglas

1. Descripción lingüística:
   - ‘error’ para e(t)
   - ‘variación-error’ para de(t)/dt
   - ‘incremento-comando’ para Δu(t)

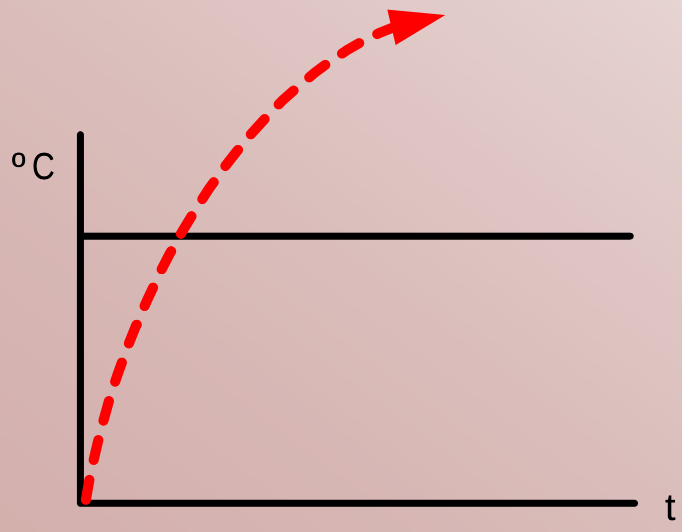
2. Valores lingüísticos:
   - PG Positivo Grande
   - PM Positivo Medio
   - PP Positivo Pequeño
   - CE Cero
   - NP Negativo Pequeño
   - NM Negativo Medio
   - NG Negativo Grande

❑Inclusión del conocimiento de control en la Base de Reglas

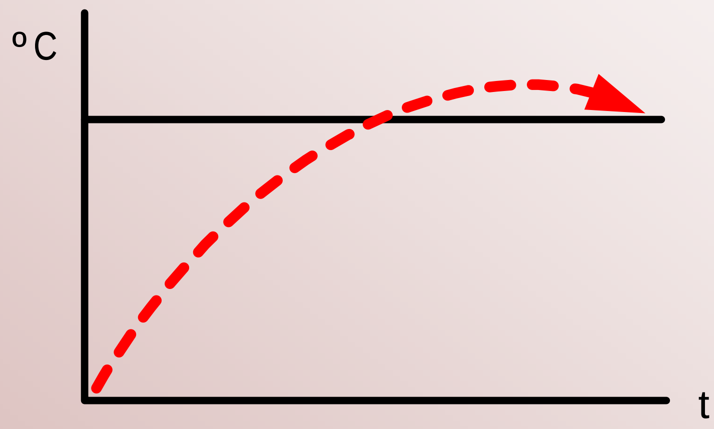
3. Reglas:

•**Si** el *error* es NG o el *error* es NM o el error es NP **Entonces** *incremento-energía-suministrada* es NG.

a) Error = NG



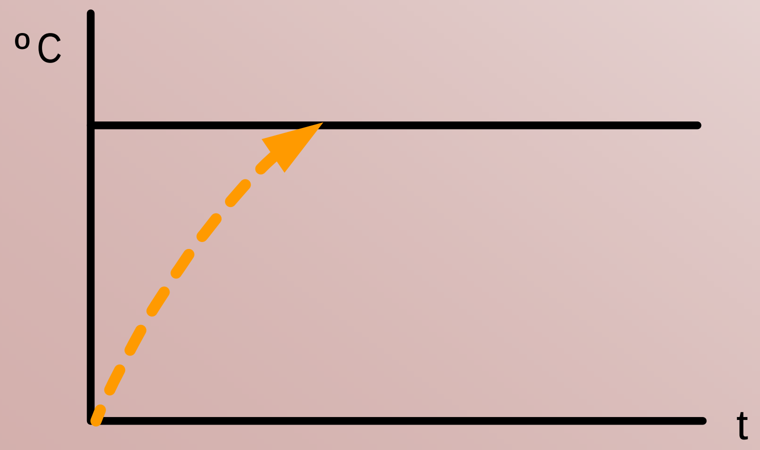
b) Error=NP
Variación-error=PP



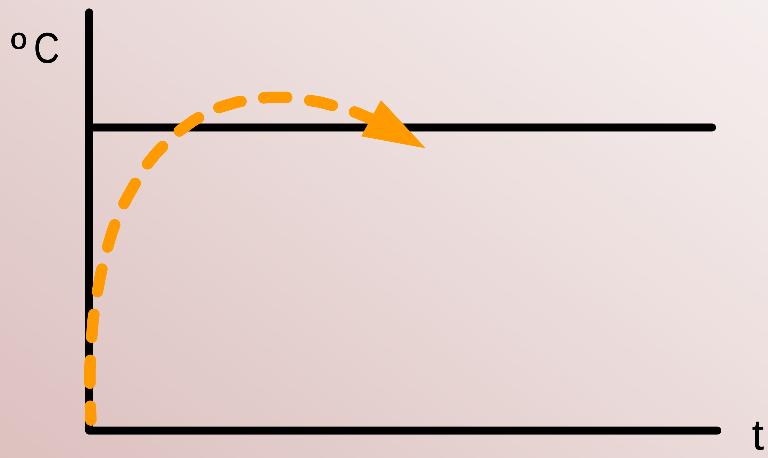
- **Si** el *error* es CE y la *variación-error* es NP **Entonces** *incremento-energía-suministrada* es NP.

- **Si** el *error* es CE y la *variación-error* es PP **Entonces** *incremento-energía-suministrada* es PP.

c) Error = CE
Variación-error = NP



d) Error = CE
Variación-error = PP

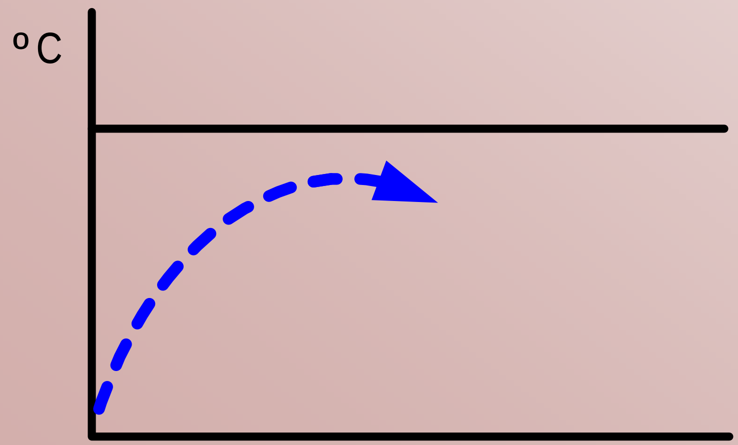


Control Borroso

- **Si** el *error* es PP y la *variación-error* es PP **Entonces** *incremento-energía-suministrada* es PP.

- **Si** el *error* es PG y la *variación-error* es NG **Entonces** *incremento-energía-suministrada* es CE.

e) Error = PP
Variación-error = PP



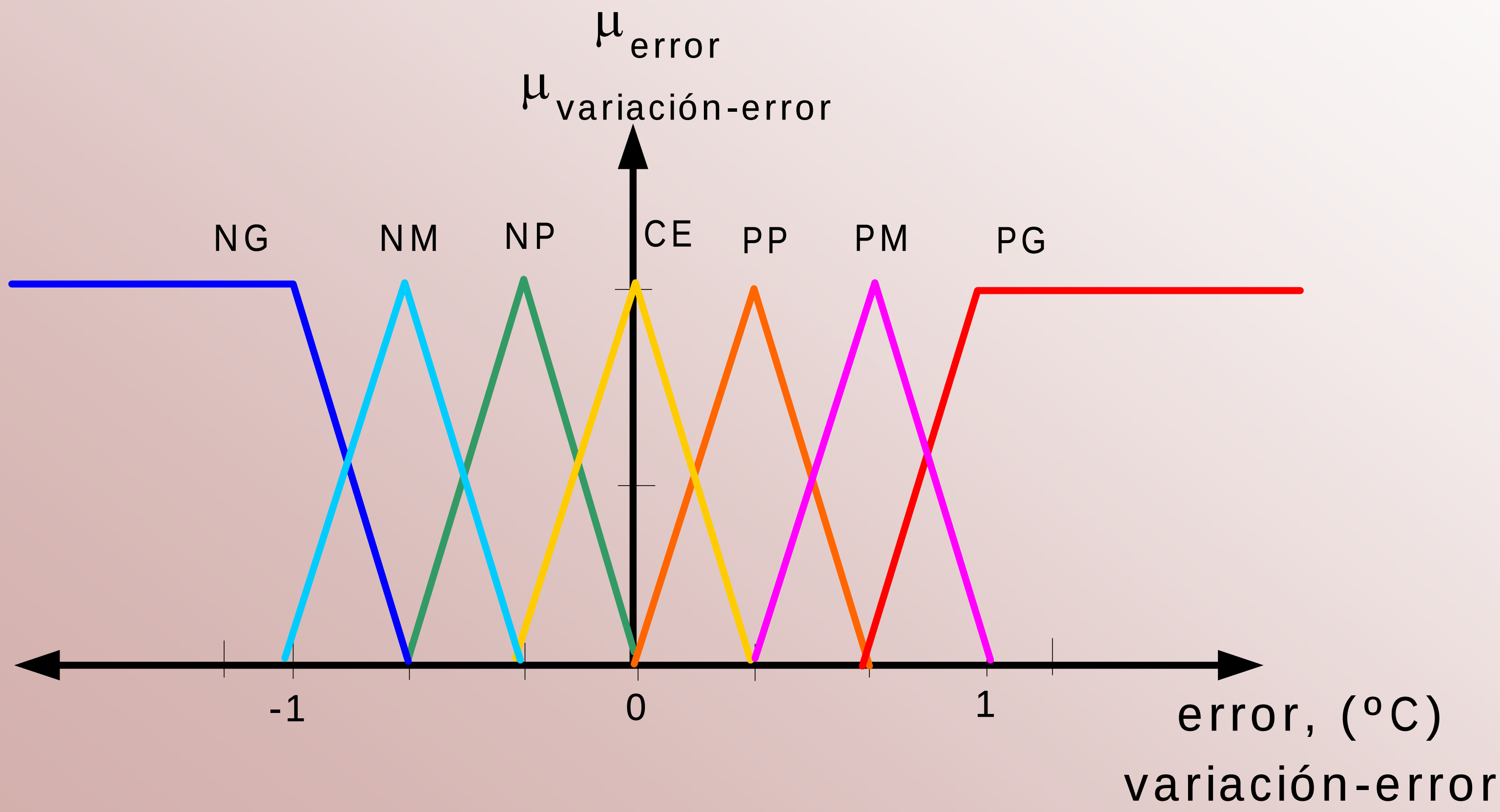
f) Error = PG
Variación-error = NG

- Todas las posibles reglas (7^2) se representan en la siguiente tabla:

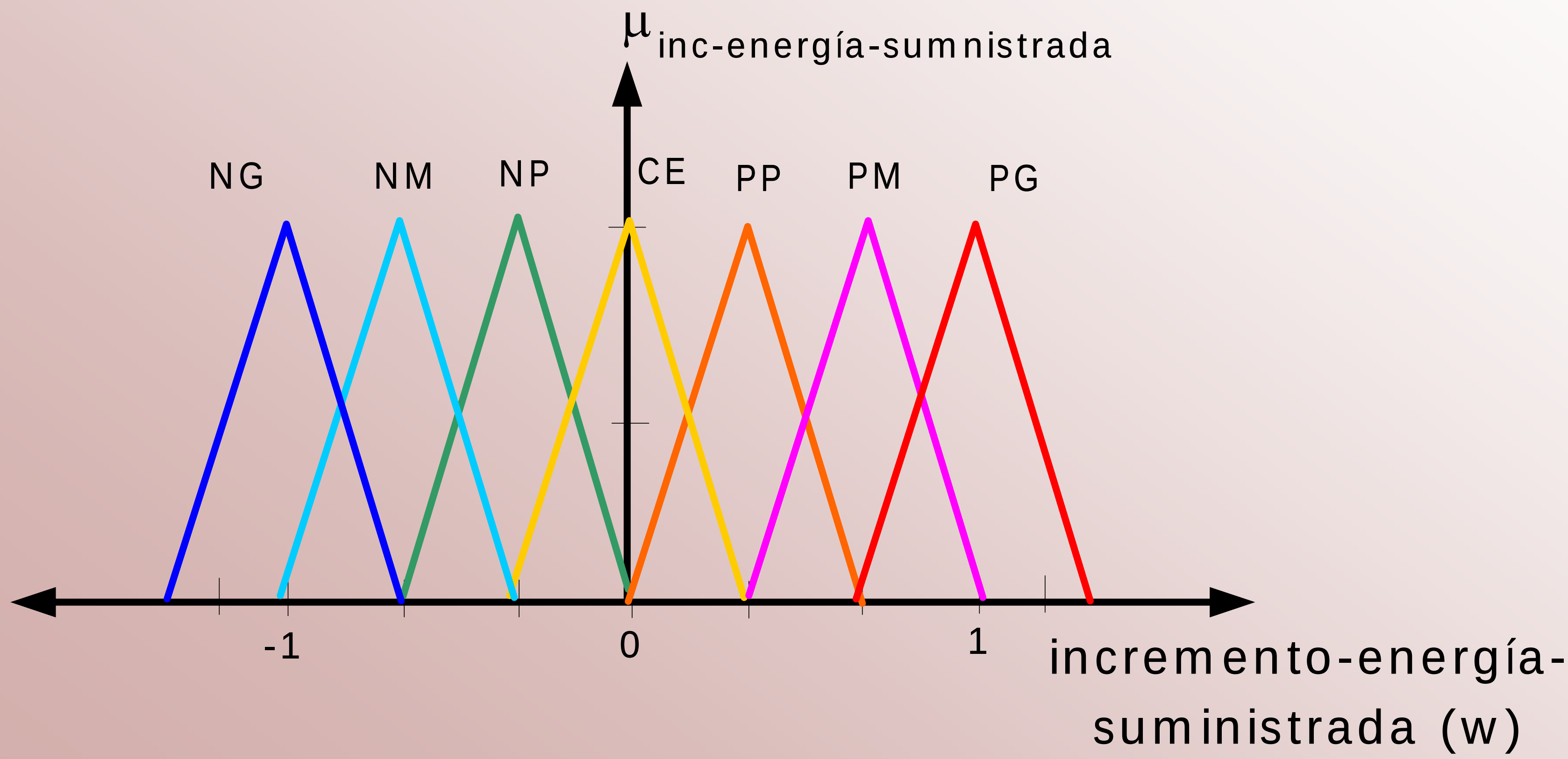
error / *variación-error*	NG	NM	NP	CE	PP	PM	PG
PG	**NG**	**NG**	**NG**	**PG**	**PG**	**PG**	**PG**
PM	**NG**	**NG**	**NG**	**PM**	**PG**	**PG**	**PG**
PP	**NG**	**NG**	**NG**	**PP**	**PP**	**PG**	**PG**
CE	**NG**	**NG**	**NG**	**CE**	**PM**	**PM**	**PG**
NP	**NG**	**NG**	**NG**	**NP**	**CE**	**PP**	**PM**
NM	**NG**	**NG**	**NG**	**NM**	**NP**	**CE**	**PP**
NG	**NG**	**NG**	**NG**	**NG**	**NM**	**NP**	**CE**

Cuantificación borrosa del conocimiento

- Funciones de pertenencia (variables de entrada)

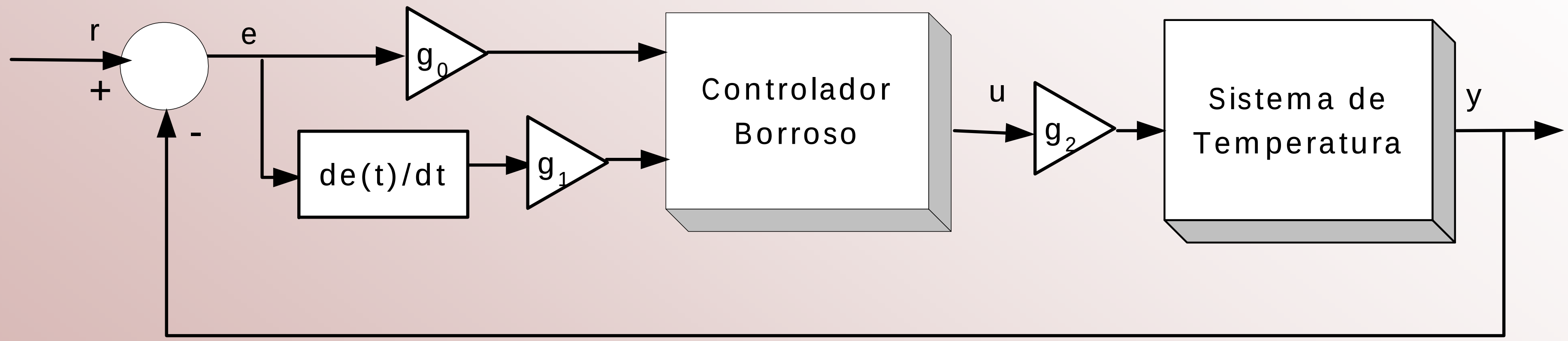


- Cuantificación borrosa del conocimiento
  - Funciones de pertenencia (variable de salida)



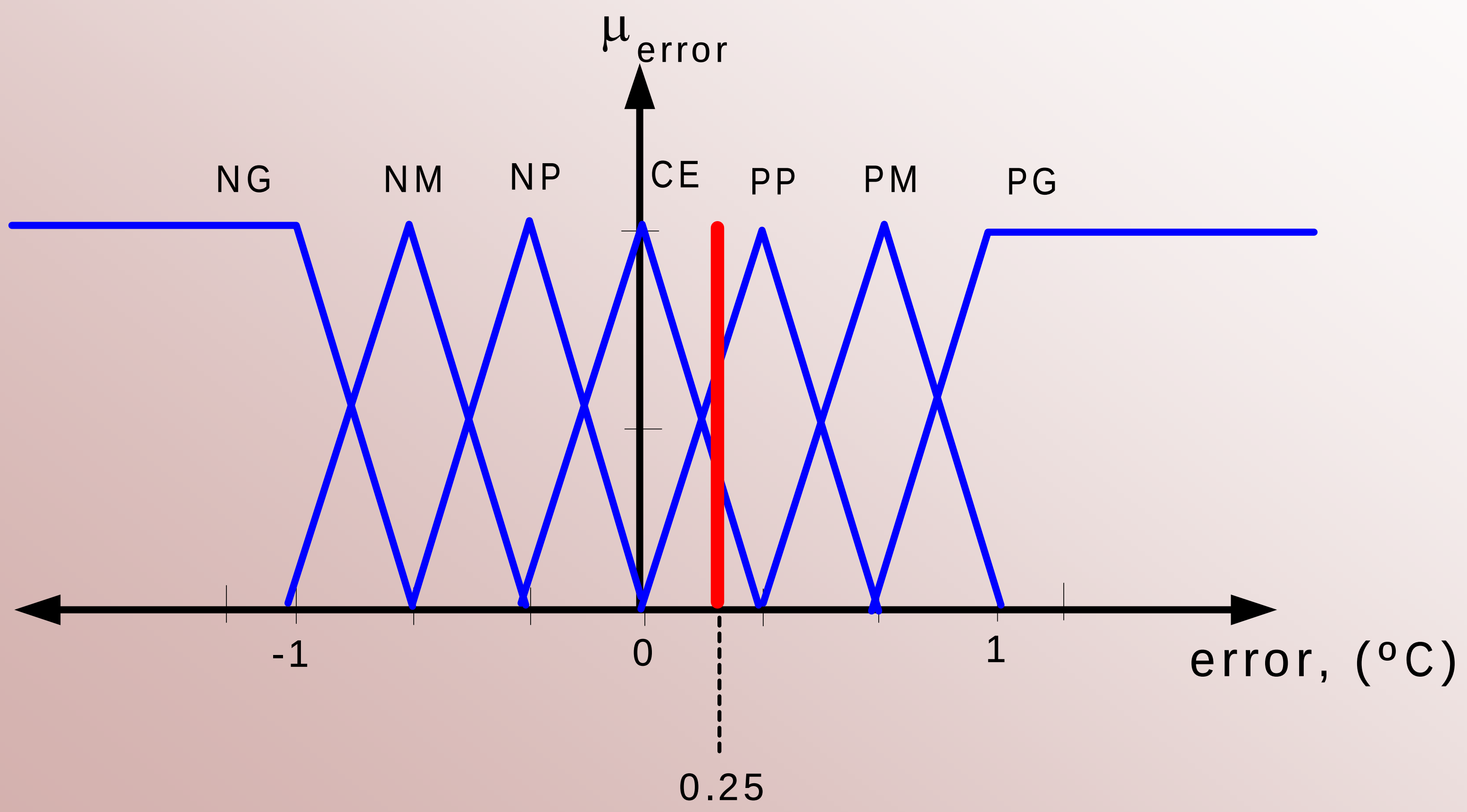
Cuantificación borrosa del conocimiento

- Ganancias de escala



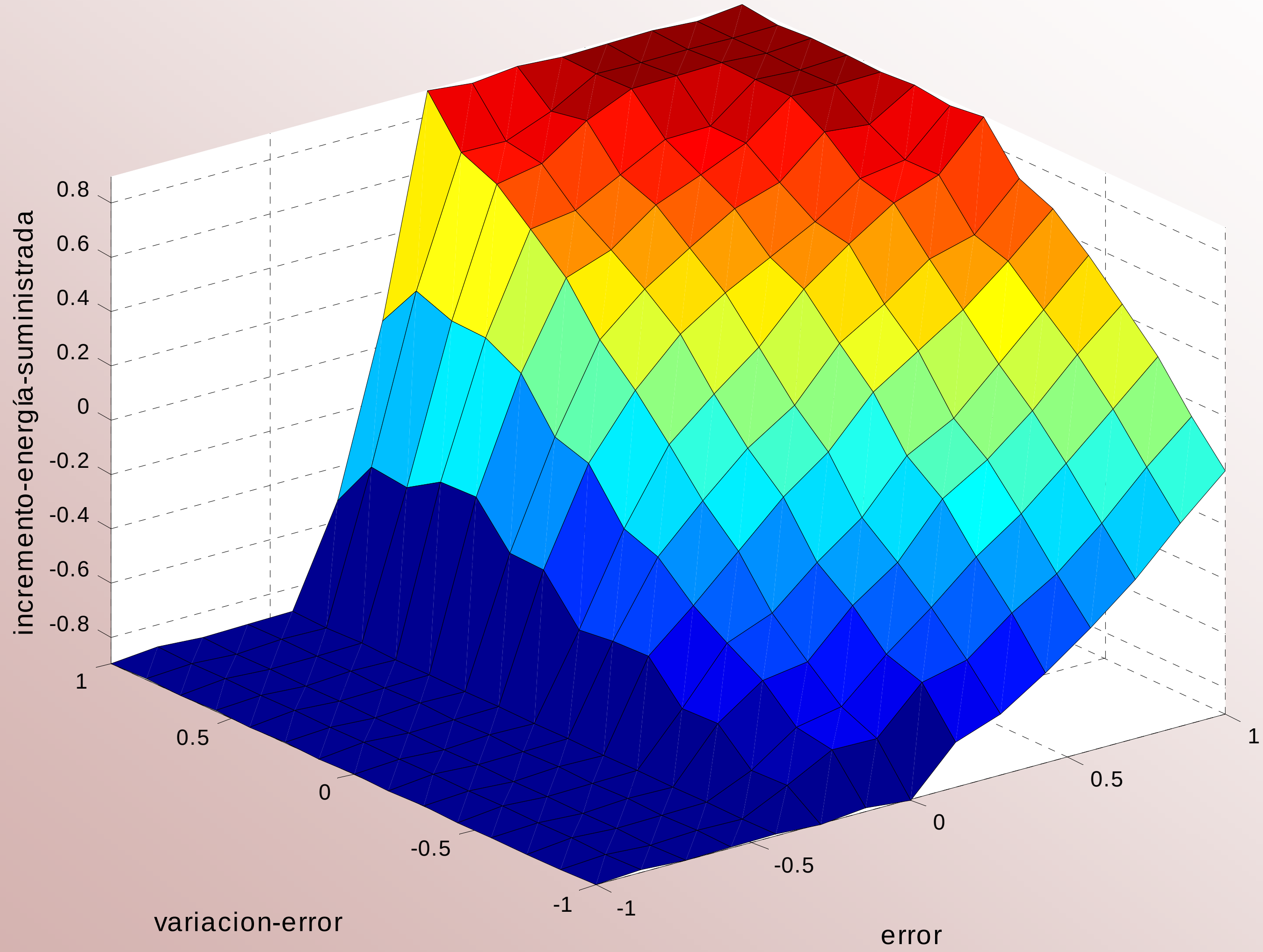
- Si la $g_e = 1$ no tiene efecto sobre la funciones de pertenencia.
- Si la $g_e > 1$ entonces las funciones de pertenencia son uniformemente contraidas en un factor $1/\, g_e$.
- Si $g_e < 1$ entonces las funciones de pertenencia son uniformemente expandidas en un factor $1/\, g_e$

- Mecanismo de borrosificación: *singleton*

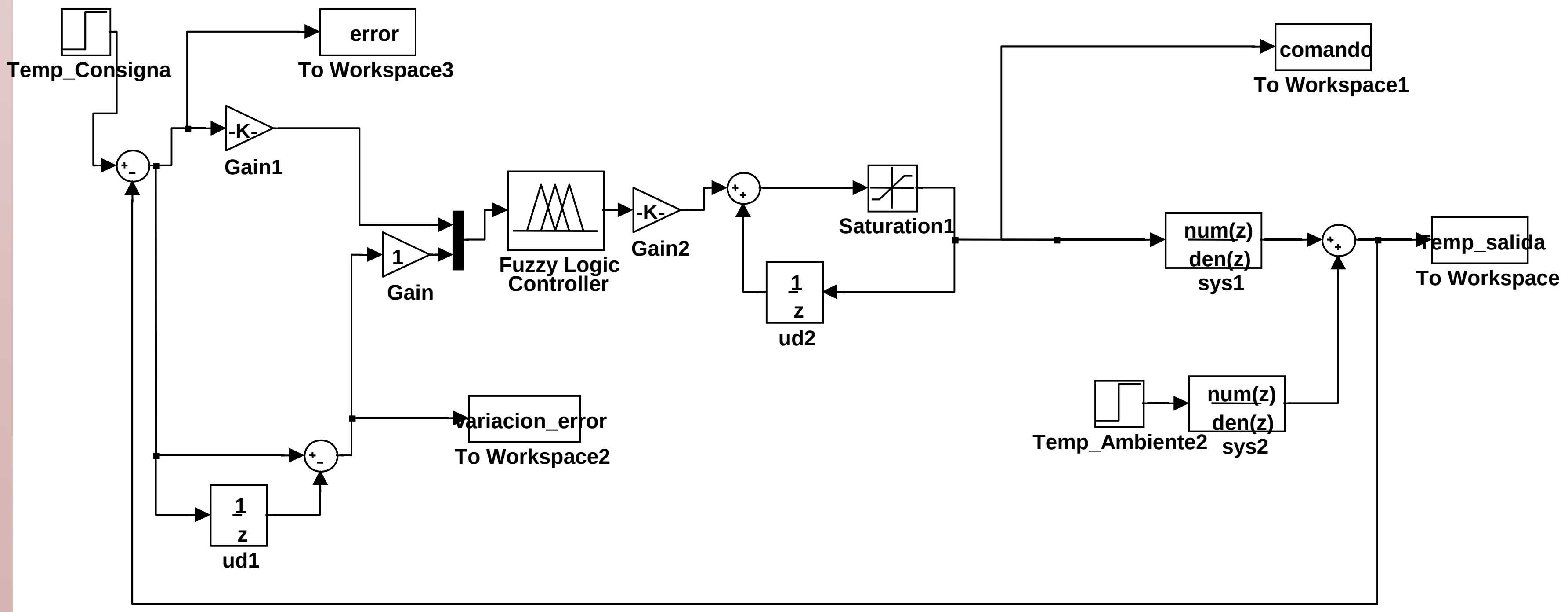


- Mecanismo de inferencia:
  - Modelo de Mamdani: T-norma (mínimo) y S-norma (máximo)
- Mecanismo de desborrosificación:
  - Centro de gravedad

- Simulación:

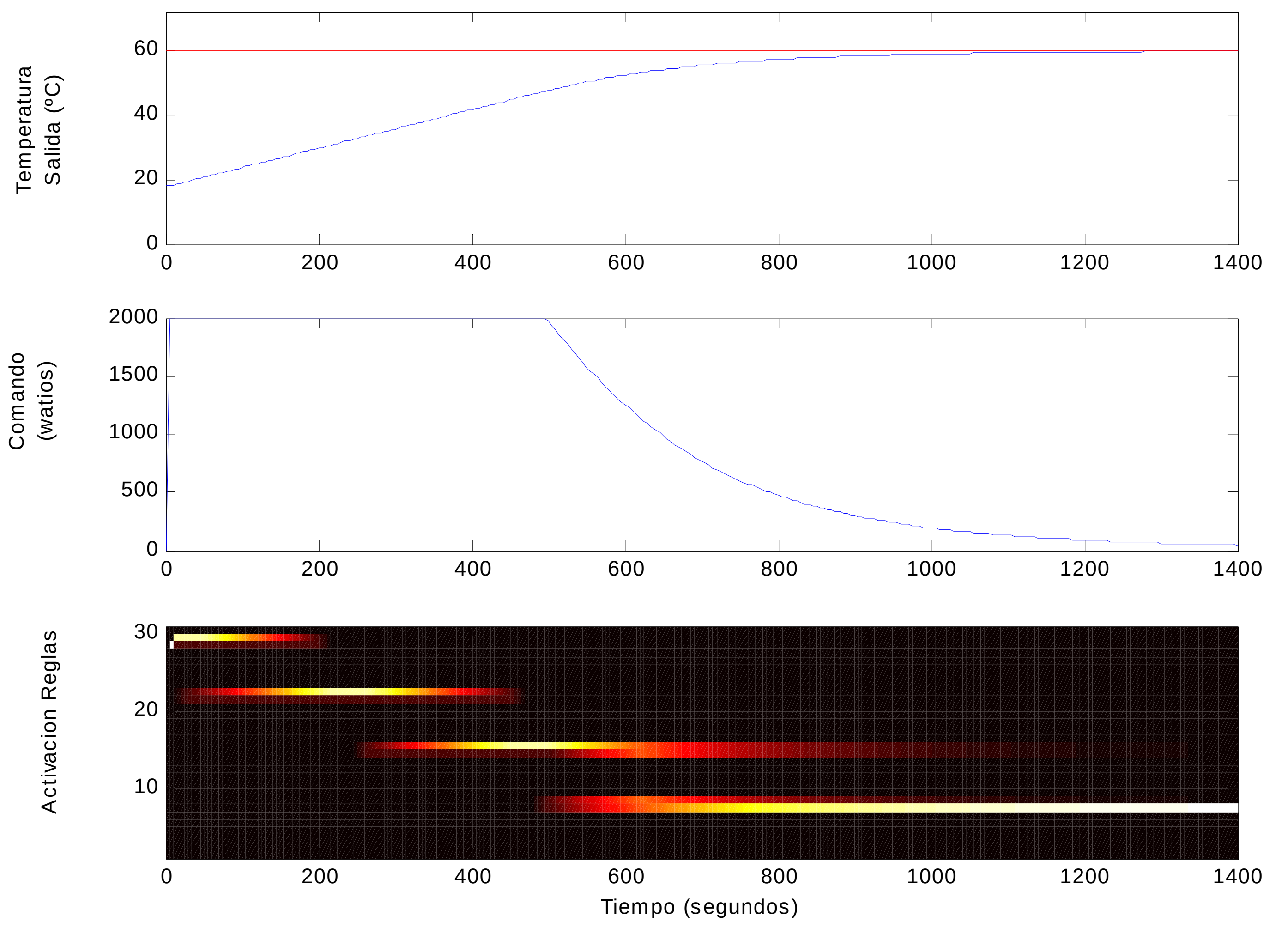

incremento-energía-suministrada
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
-0.8
1
0.5
0
-0.5
-1
variacion-error
-1
-0.5
0
0.5
1
error

Simulación:



Temp_Consigna
error
To Workspace3
-K-
Gain1
1
Gain
Fuzzy Logic Controller
-K-
Gain2
Saturation1
1
z
ud2
comando
To Workspace1
num(z)
den(z)
sys1
Temp_salida
To Workspace
variacion_error
To Workspace2
1
z
ud1
Temp_Ambiente2
num(z)
den(z)
sys2

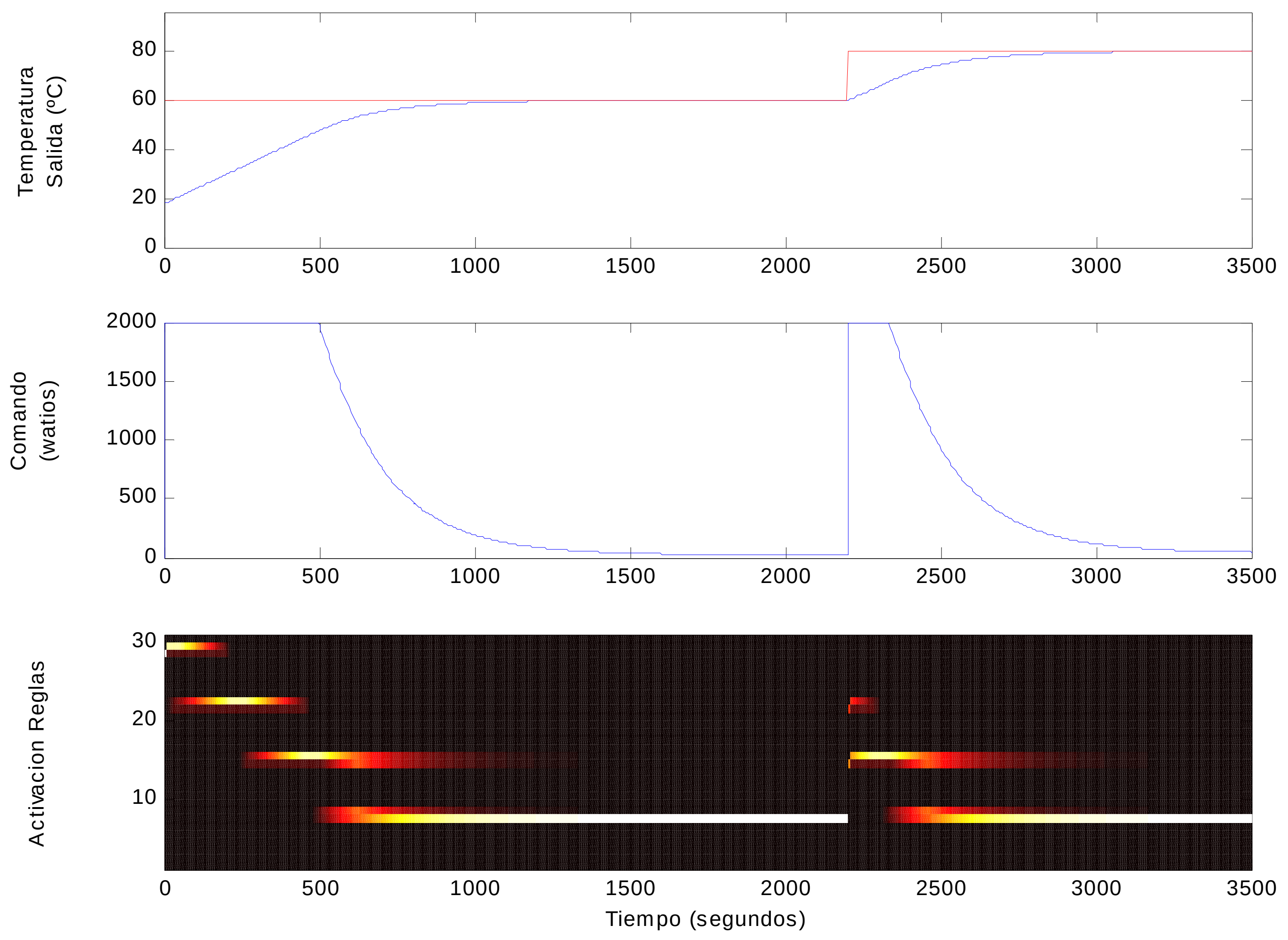
- Resultados:



Temperatura
Salida (ºC)
60
40
20
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Comando
(watios)
2000
1500
1000
500
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Activacion Reglas
30
20
10
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Tiempo (segundos)

Control Borroso

Resultados:



Bibliografía

1. J.S.R. Jang – C.T. Sun - E. Mizutani
Neuro-Fuzzy and Soft Computing.
A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence
Prentice Hall, 1997 (cap. 2,3 y 4)

2. Kevin M. Passino - Stephen Yurkovich
Fuzzy Control, Addison-Wesley, 1998 (cap. 2)

3. E. Trillas (Editor)
Fundamentos e Introducción a la Ingeniería Fuzzy
Omrom, 1994

Resumen

- Presentación de la idea en la que se basa el Control Borroso
- Uso de reglas "si-entonces" aplicadas a variables lingüísticas (temperatura, caballo,...) que tienen valores imprecisos (fría, rápido, ...)
- Implementación:
  - Poder representar magnitudes vagas (conjuntos borrosos)
  - Trabajar con estas magnitudos (lógica borrosa)
  - Presentación de la inferencia borrosa $A \rightarrow B$
  - Conclusiones borrosos a partir de reglas y hechos borrosos $\Rightarrow$ Modus Ponens generalizado
- Sistemas de inferencia borrosa de Mamdani y el de Takagi-Sugeno-Kang
- Estructura de un controlador borroso
- Ejemplo sobre un control de temperatura.

Resumen

- Presentación de la idea en la que se basa el Control Borroso
- Uso de reglas “si-entonces” aplicadas a variables lingüísticas (temperatura, caballo,...) que tienen valores imprecisos (fría, rápido, ...)
- Implementación:
  - Poder representar magnitudes vagas (conjuntos borrosos)
  - Trabajar con estas magnitudes (lógica borrosa)
  - Presentación de la inferencia borrosa A→B
  - Conclusiones borrosos a partir de reglas y hechos borrosos ⇒ Modus Ponens generalizado
- Sistemas de inferencia borrosa de Mamdani y el de Takagi-Sugeno-Kang
- Estructura de un controlador borroso
- Ejemplo sobre un control de temperatura.