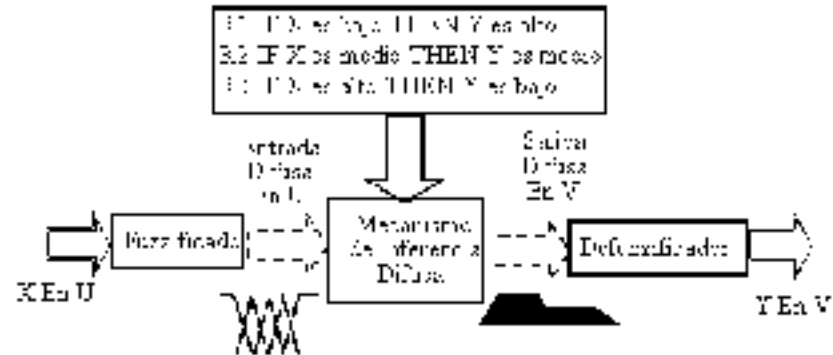


# Sistemas de Inferencia Difusa



# Sistemas de inferencia difusa

La inferencia difusa consiste en generar conclusiones o resultados, a partir de premisas o información borrosa, es decir información que utiliza cuantificadores lingüísticos de cualidad (mucho, muy, alto, poco, menos, mediano, intermedio).

Los sistemas de inferencia difusa se componen básicamente de tres componentes conceptuales:

- Conjuntos difusos y sus funciones de pertenencia.
- Operaciones entre conjuntos difusos y reglas difusas.
- Mecanismo de inferencia.

# Sistemas de inferencia difusa

Los sistemas de inferencia difusa más populares que se encuentran en la literatura son los siguientes:

- Sistemas difusos tipo Mamdani (con fuzzificador y defuzzificador)
- Sistemas difusos tipo Takagi-Sugeno, TKS.
- Sistemas difusos tipo Tsukamoto

# **Sistemas difusos tipo Mamdani**

**Ebrahim H. Mamdani**

# Sistemas difusos tipo Mamdani

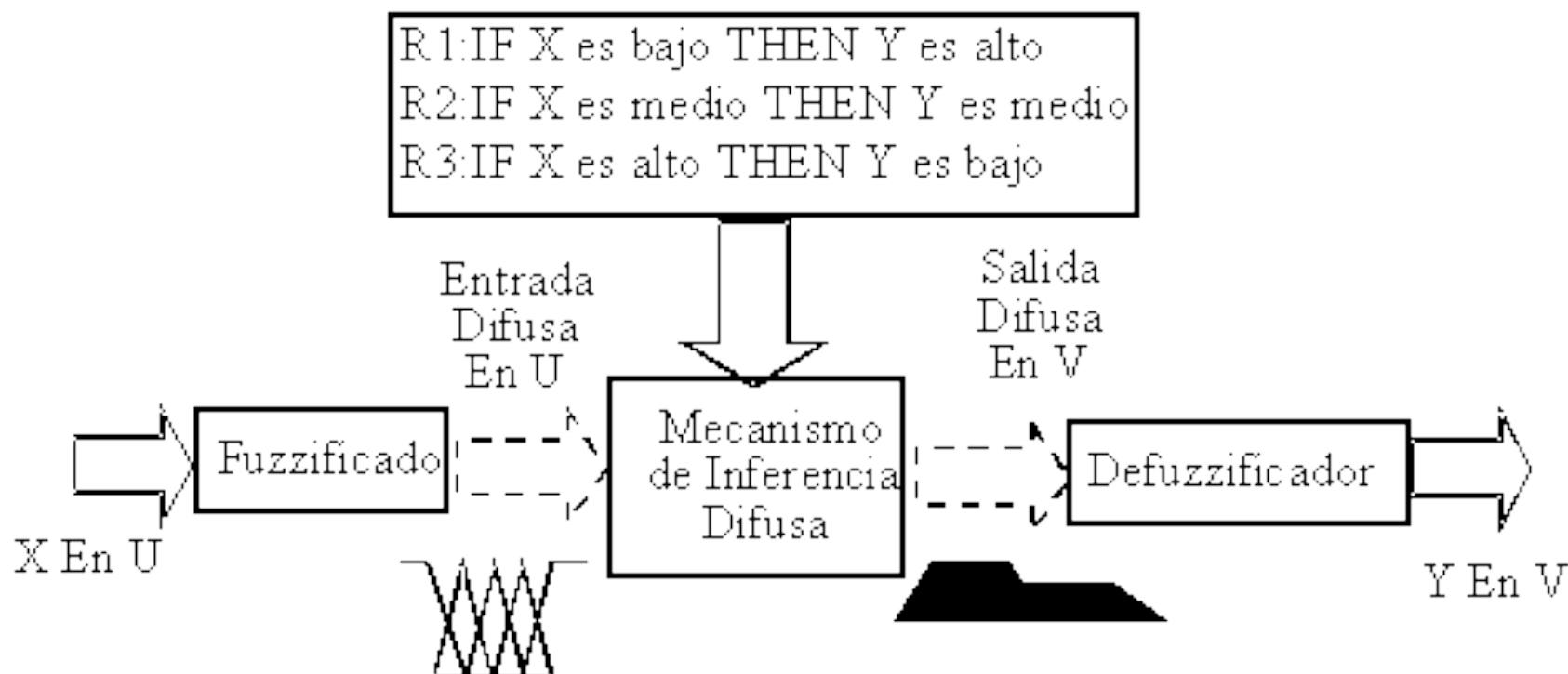
**Ebrahim H. Mamdani**

(1 de junio de 1942 - 22 de enero de 2010)

Matemático, informático, ingeniero eléctrico e investigador de inteligencia artificial. Mamdani nació en Tanzania, se educó en India y en 1966 viajó al Reino Unido. Obtuvo su doctorado en Queen Mary College, Universidad de Londres. Posteriormente se incorporó a su Departamento de Ingeniería Eléctrica.

En 1975 introdujo un nuevo método de sistemas de inferencia difusa, que se denominó Inferencia difusa de tipo Mamdani. La inferencia difusa tipo Mamdani tiene caracteres como los instintos humanos, funciona bajo las reglas de la lingüística y tiene un algoritmo difuso que proporciona una aproximación para ingresar al análisis matemático.

# Sistemas difusos tipo Mamdani



# Operadores de Mamdani

En la inferencia según Mamdani se definen los siguientes operadores:

- Unión:  $\max$
- Intersección:  $\min$
- El operador composición:  $\max - \min$
- Implicación  $\min$
- Agregación  $\max$

# Sistemas difusos en entornos Crisp

En general, las entradas y salidas de un sistema de inferencia difusa son **términos difusos**.

Sin embargo, en un sistema físico real usualmente se desea tener valores nítidos, crisp = discretos. Son necesarios entonces los bloques de acoplamiento,

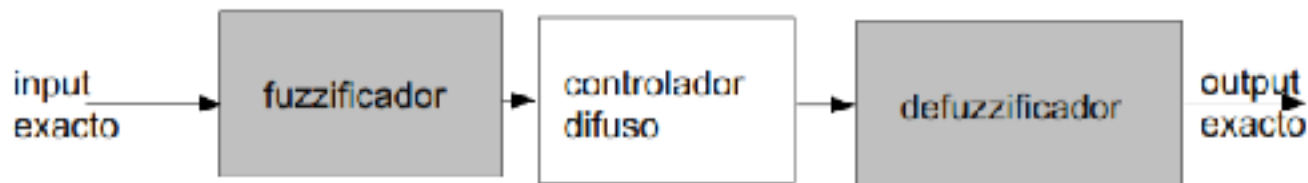
- **Fuzzificador**
- **Defuzzificador**



# Fuzzificador y defuzzificador

Generalmente los sistemas y dispositivos del mundo real están asociados recibir o generar valores exactos, por ejemplo sensores y actuadores.

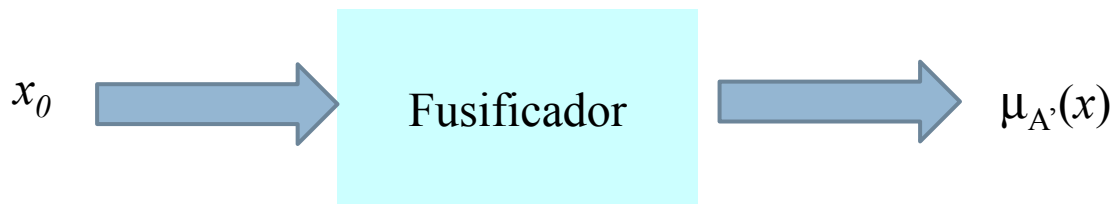
Por tanto es necesaria una conversión:



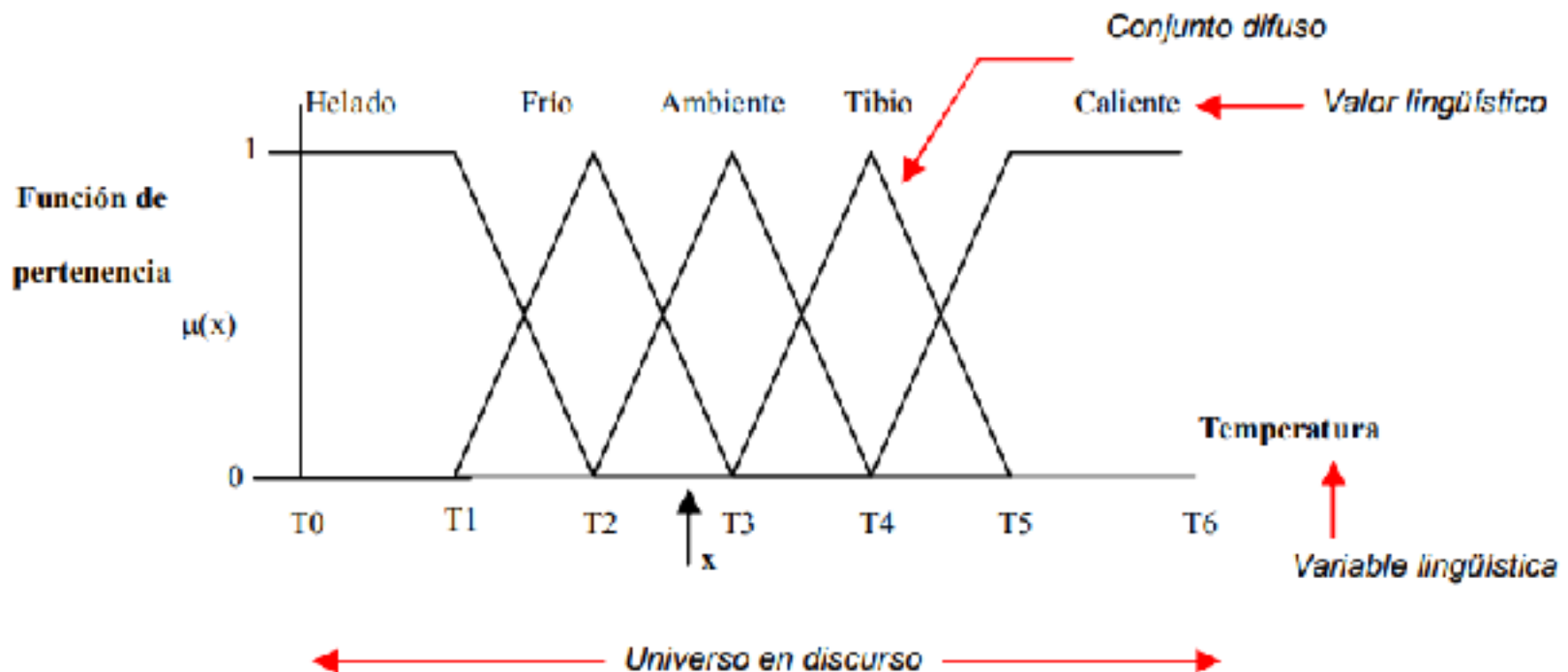
# Fuzzificador

La entrada de un sistema de lógica difusa tipo Mamdani normalmente es un valor numérico proveniente, por ejemplo, de un sensor; para que este valor pueda ser procesado por el sistema difuso se hace necesario **convertirlo a un "lenguaje natural"** que el mecanismo de interferencia pueda procesar.

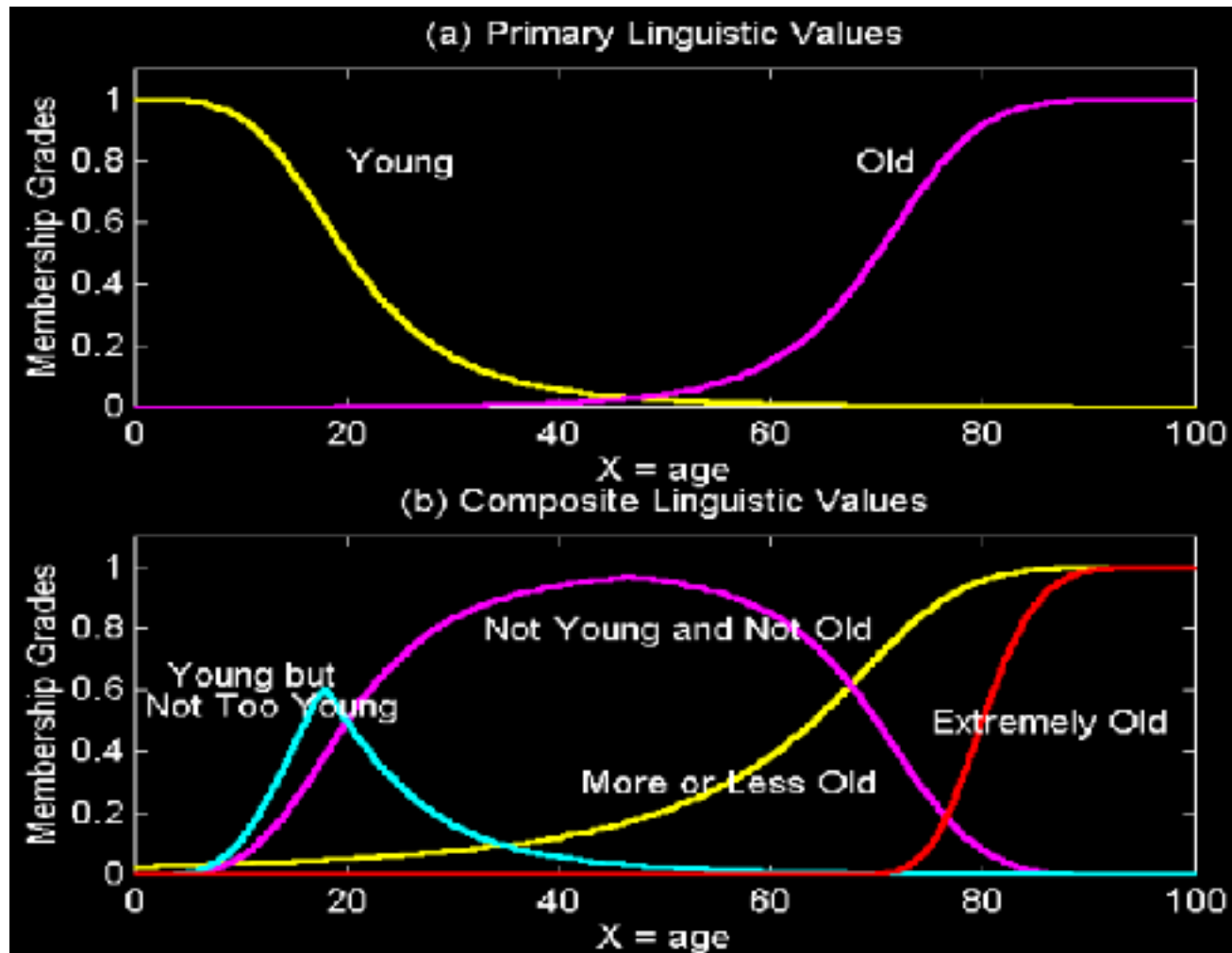
Ropa mojada = [0 – 100%] = [seco, poco seco, húmedo, mojado]



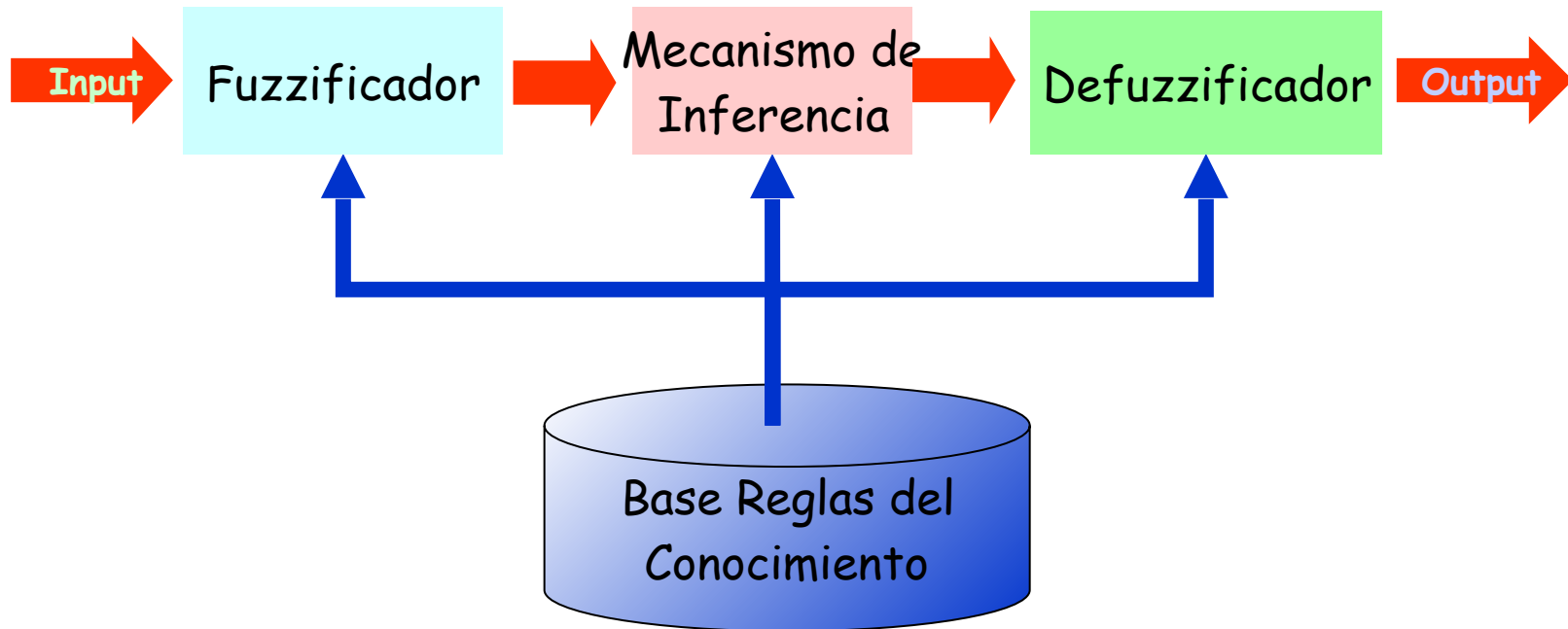
# Sistemas difusos lingüísticos en entornos crisp



# Sistemas difusos lingüísticos en entornos crisp

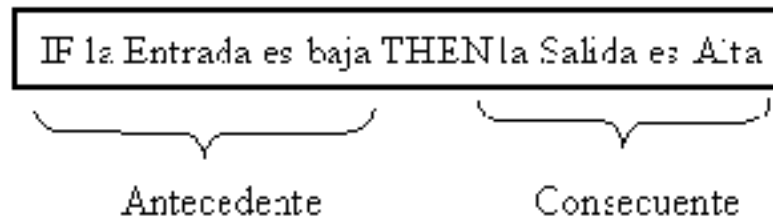


# Base de reglas



# Base de reglas

La base de reglas es la manera que tiene un sistema difuso para **guardar el conocimiento lingüístico** que le permiten resolver el problema para el cual ha sido diseñado. Estas reglas son del tipo IF-THEN.

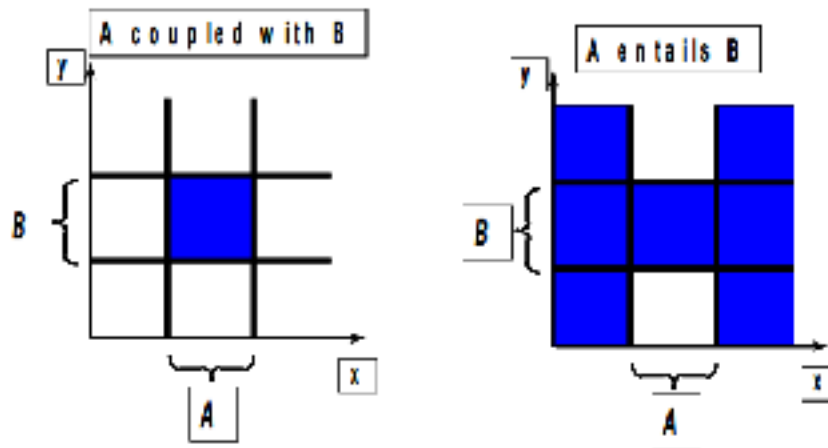


En un sistema difuso tipo Mamdani tanto el antecedente como el consecuente de las reglas están dados por expresiones lingüísticas, en los cuales existen cuantificadores de cualidad.

# Base de reglas

Como obtener las reglas, base de conocimiento del sistema.

Apareamiento de variables lingüísticas de entrada, para generar los posibles resultados lingüísticos de salida.



# Base de reglas

Como obtener las reglas, base de conocimiento del sistema.

Apareamiento de variables lingüísticas de entrada, para generar los posibles resultados lingüísticos de salida.

“Si la IL es (muy poca) y la HD es (mañana) entonces cerrar las persianas y apagar las luces”

		Intensidad luminosa							
		Muy poca		Poca		Normal		Mucha	
Hora	Mañana	CIERRA	OFF	CIERRA	OFF	CIERRA	OFF	CIERRA	OFF
	Día	ABRE	ON	ABRE	ON	MEDIO	OFF	CIERRA	OFF
	Noche	CIERRA	OFF	CIERRA	OFF	CIERRA	OFF	CIERRA	OFF

Persianas

Luces



# Base de reglas

Apareamiento de variables lingüísticas:

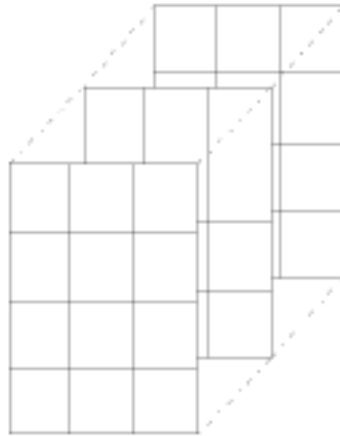
- Dos variables: input\_1(4 valores), input\_2(3 valores).


Genera 12 resultados o valores difusos posibles (algunos de estos resultados pueden repetirse)

# Base de reglas

Apareamiento de variables lingüísticas:

- Tres variables: input\_1(4 valores), input\_2(3 valores), input\_3(3 valores).

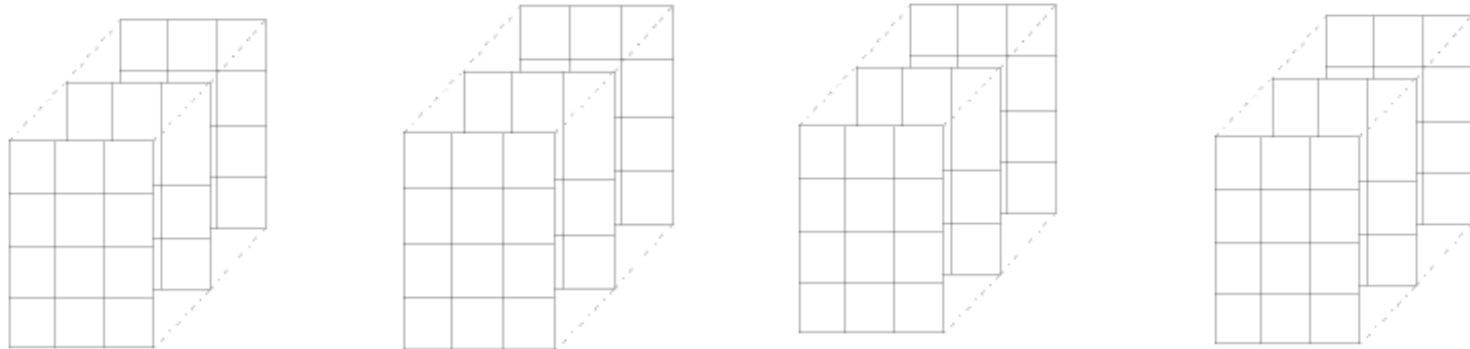


Genera 36 resultados o valores difusos posibles (algunos de estos resultados pueden repetirse)

# Base de reglas

Apareamiento de variables lingüísticas:

- Cuatro variables: input\_1(4 valores), input\_2(3 valores), input\_3(3 valores), input\_4(4 valores).



Genera 72 resultados o valores difusos posibles (algunos de estos resultados pueden repetirse)

# Base de reglas

Ejemplo:

Apareamiento de variables lingüísticas

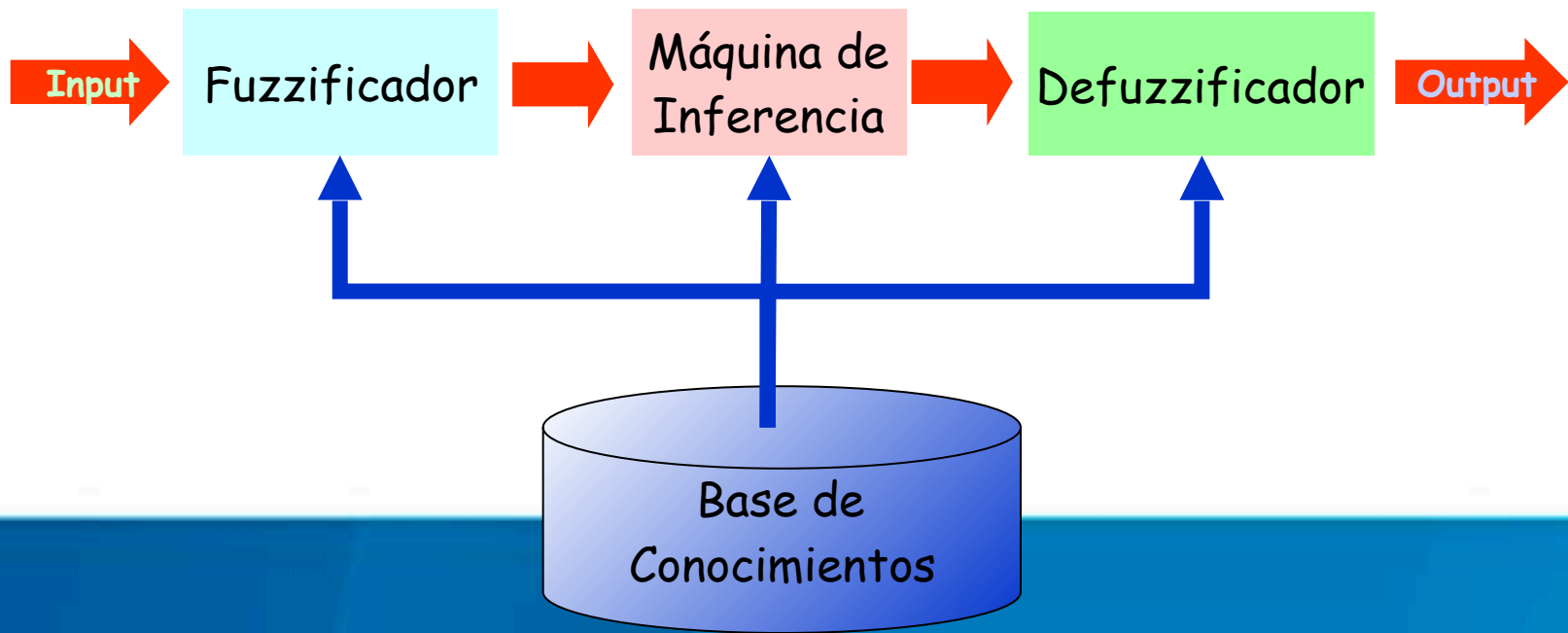
Salida: Tiempo de pago para un crédito bancario

Entradas: Ingresos, edad, capacidad de pago, experiencia.

Plazo	Ingresos	Bajo	Medio	Alto
	Capacidad de Pago	Baja	Media	Alta
Tiempo	Edad			
Nuevo	Joven	Bajo	Bajo	Medio
Promedio	Adulto	Medio	Alto	Alto
Antiguo	Anciano	Bajo	Medio	Bajo

# Inferencia

La tarea del sistema de inferencia es tomar los niveles de pertenencia provenientes del fuzzificador y apoyado en la base de reglas generar la salida del sistema difuso.



# Ejemplo

## Cálculo de la propina para un mesero

El propósito del ejercicio consiste en calcular el valor exacto que se le puede dar a un mesero, tras tener en cuenta el servicio prestado y la calidad de la comida.

Servicio = {malo, bueno, excelente}, calificación [0-10], MF's Gaussianas

Comida = {mala, deliciosa}, calificación [0-10], MF's trapezoidales

Propina = {poca, normal, generosa}, porcentaje [0-25]%, MF's triangulares

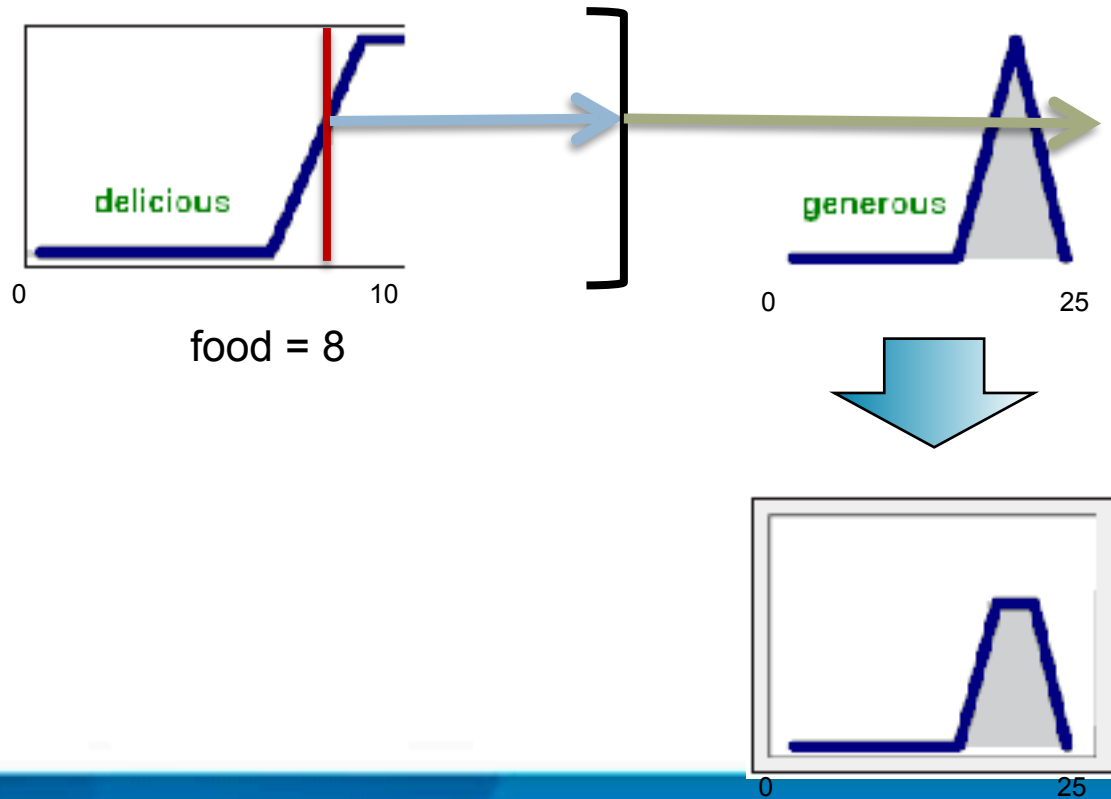
### Reglas:

- Si el servicio es malo o la comida mala entonces la propina es poca.
- Si el servicio es bueno entonces la propina es normal.
- Si el servicio es excelente o la comida es deliciosa entonces la propina es generosa.
- Si la comida es deliciosa entonces la propina es generosa.

# Ejemplo

**Regla 4:** IF food is delicious THEN Tip = generous

**Hecho:** food = 8 (singleton)

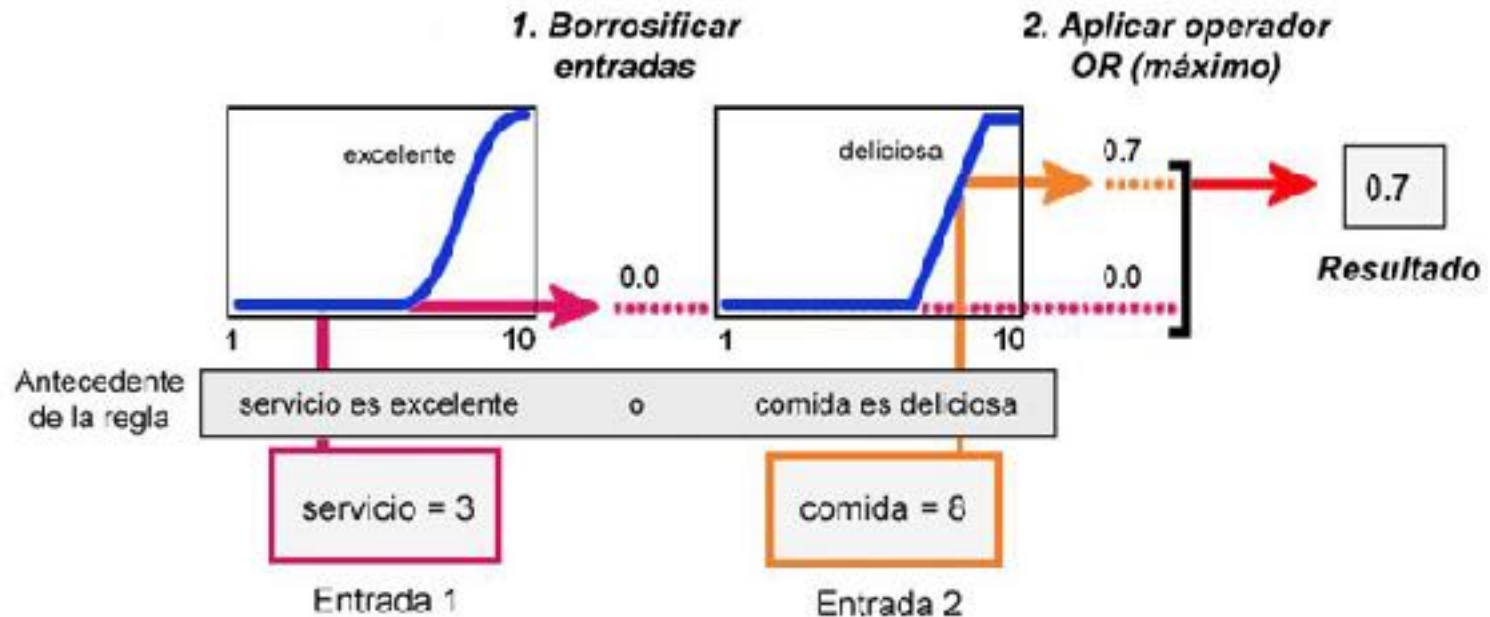


# Ejemplo

**REGLA 3:** Si el servicio es excelente O la comida es deliciosa, entonces la propina es generosa

OR =  $\max()$  = unión

AND =  $\min()$  = intersección



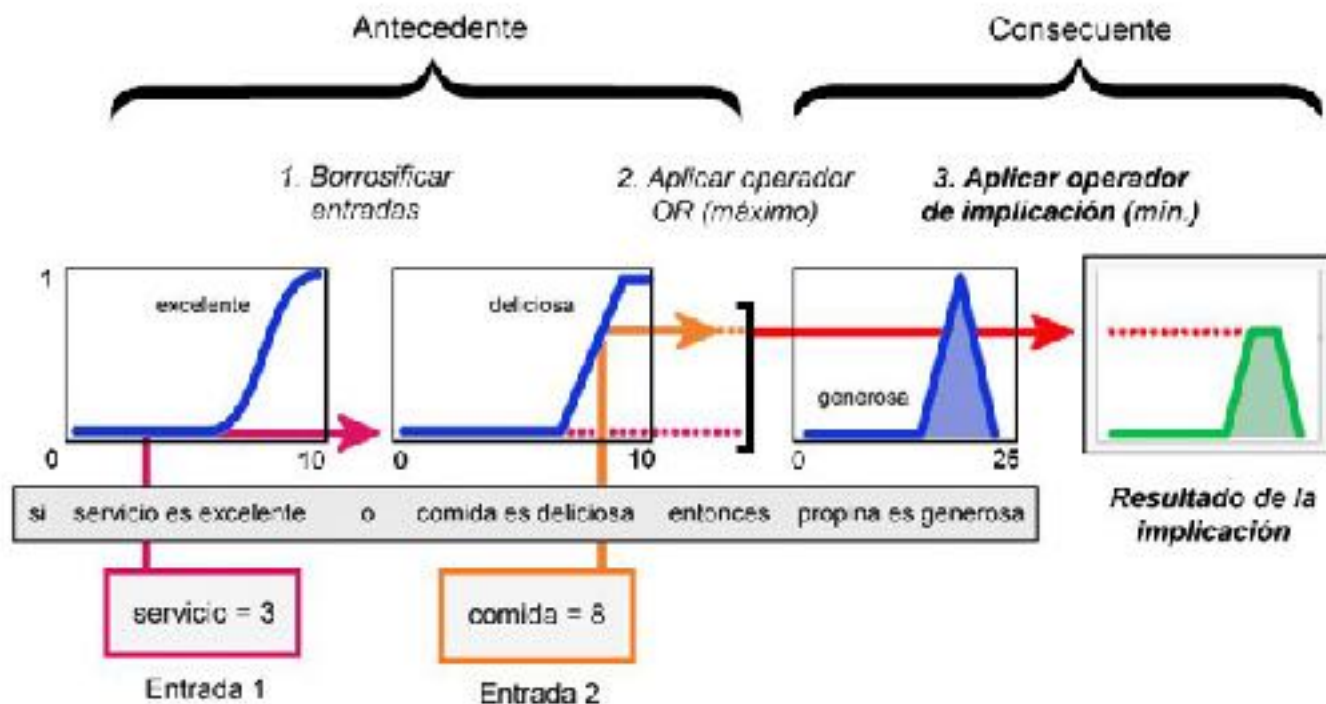


# Ejemplo

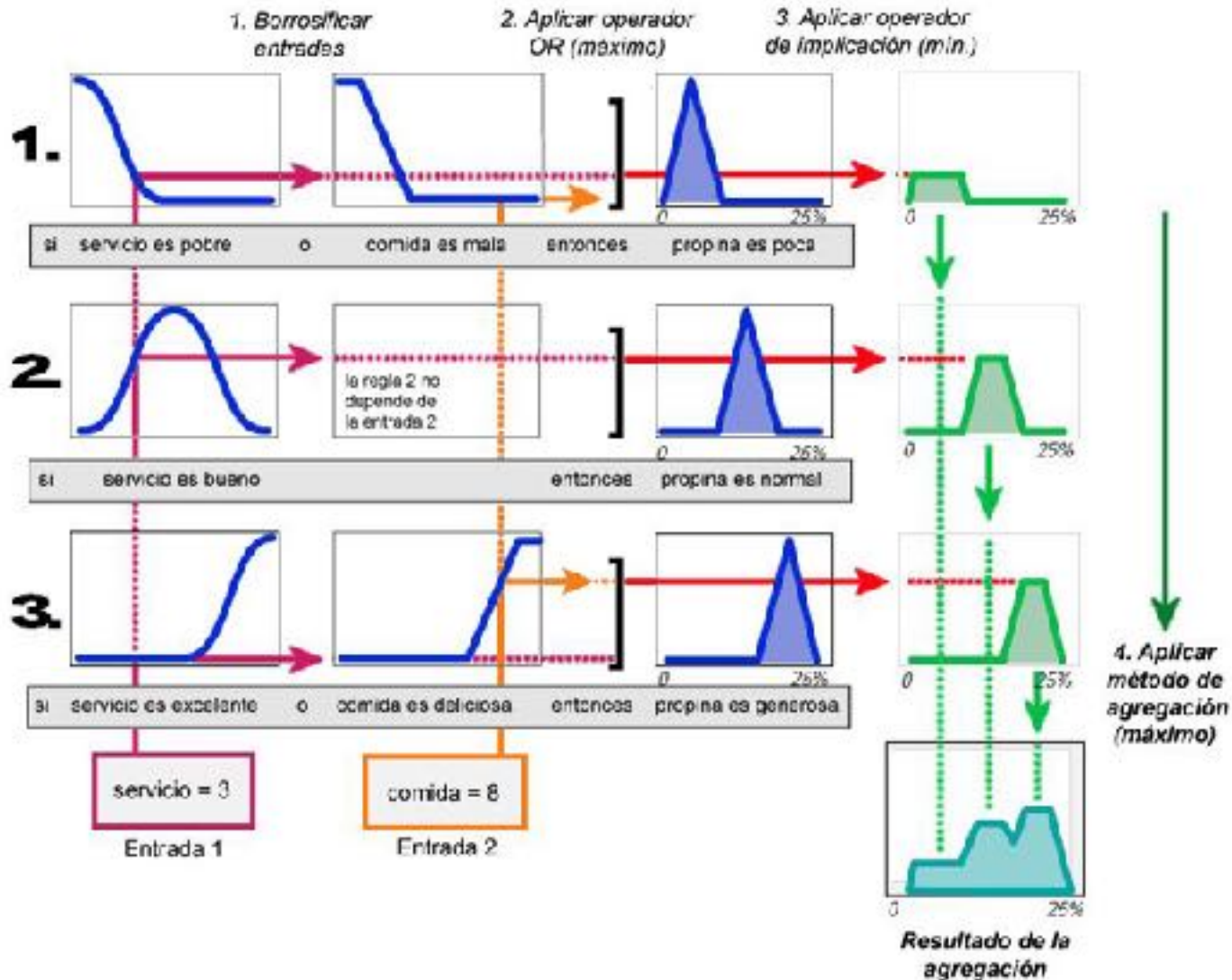
**REGLA:** Si el servicio es excelente O la comida es deliciosa entonces la propina es generosa

OR =  $\max()$  = unión

AND =  $\min()$  = intersección



# Ejemplo



# Defuzzificación

Convierte un conjunto difuso a un valor crisp.

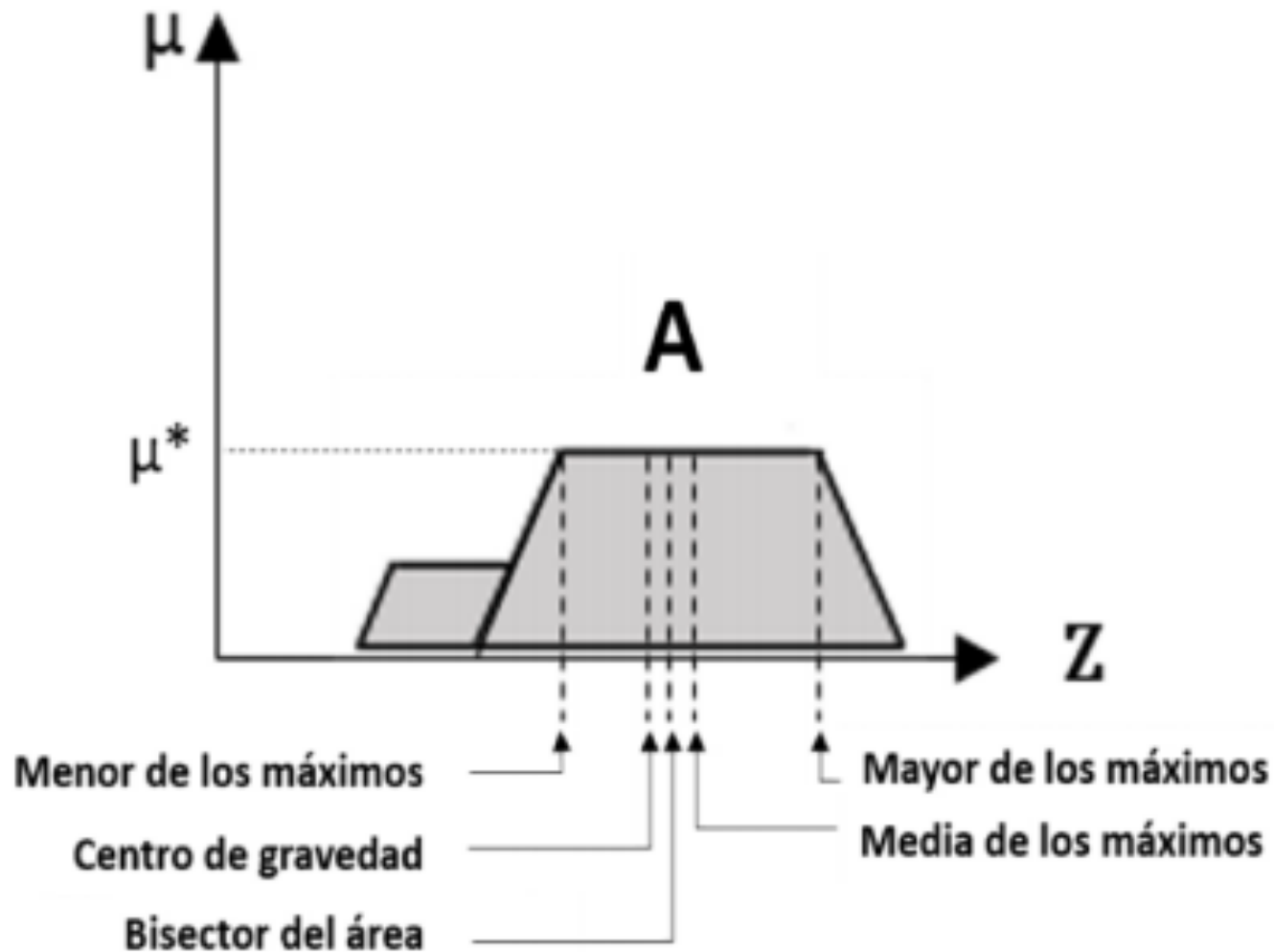
Es la extracción del valor crisp que **mejor** represente al conjunto difuso.

La respuesta no puede ser “propina buena”

No existe un procedimiento sistemático para seleccionar una **buena** estrategia de defuzzificación

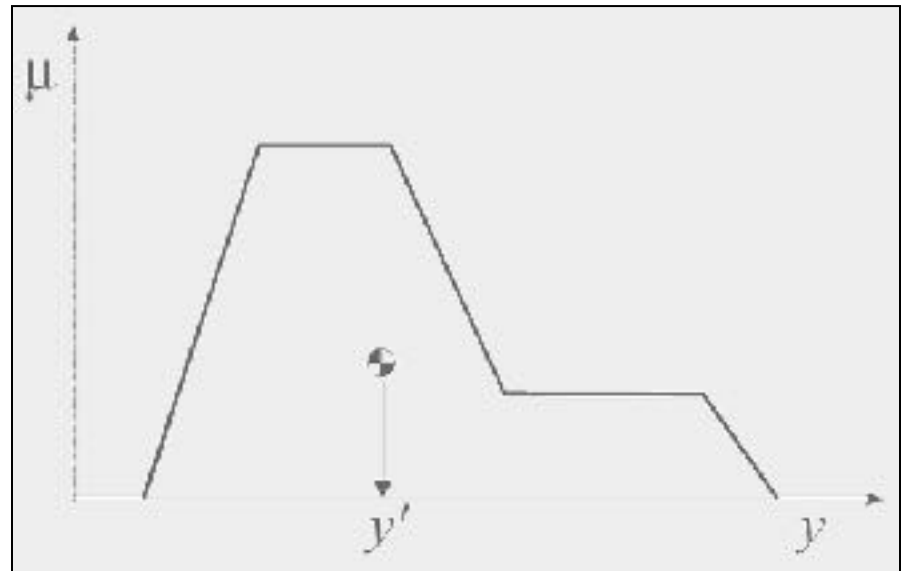
Existen diferentes métodos

# Varios esquemas de defuzzificación

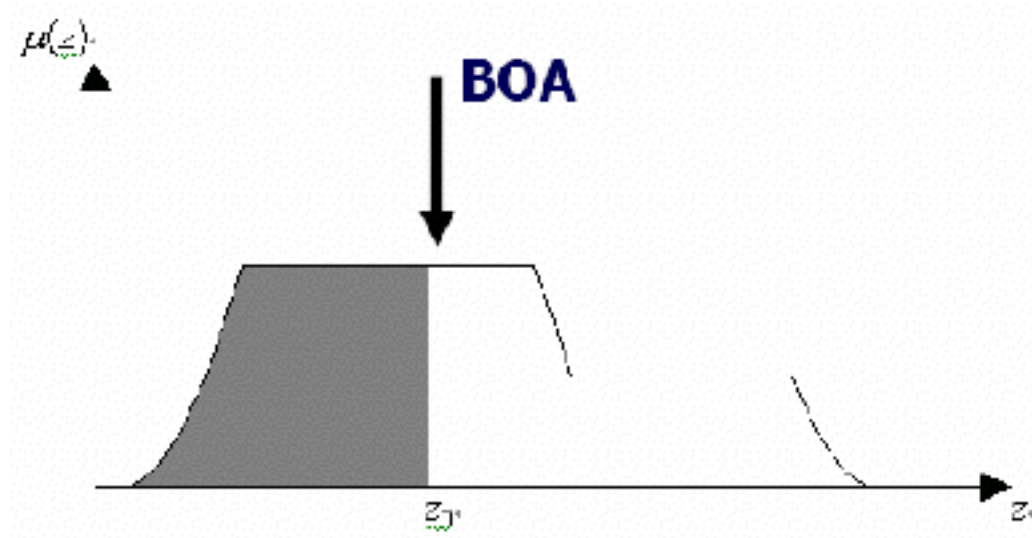


# Centroide

$$y' = \frac{\int y \mu_{B'}(y) dy}{\int y \mu_{B'}(y) dy}$$

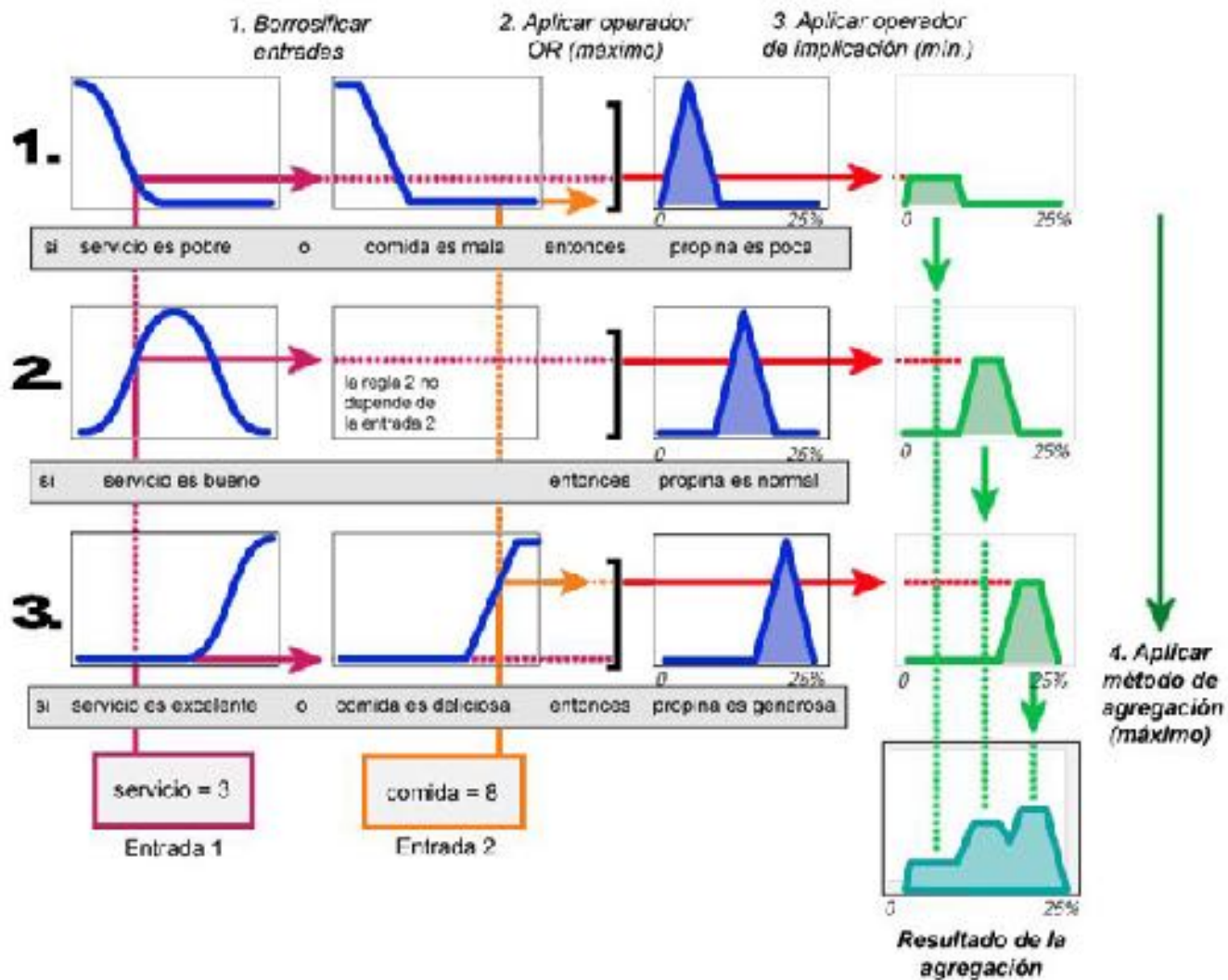


# Bisector de área

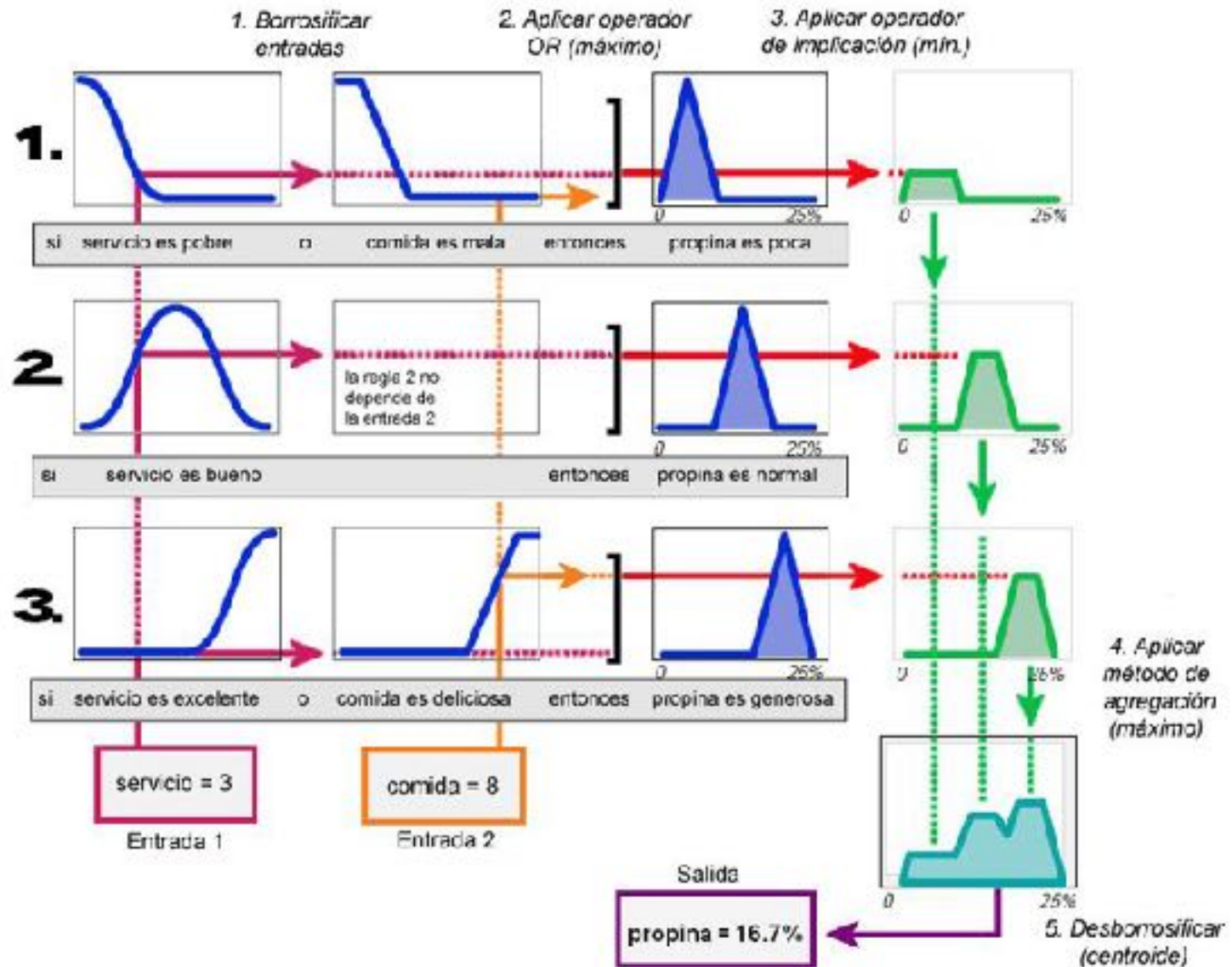


Proyección vertical de áreas iguales

# Ejemplo



# Ejemplo





# ¿ Preguntas ?



# Estructura de los sistemas difusos

Un sistema difuso puede verse desde dos puntos de vista

- Vista externa

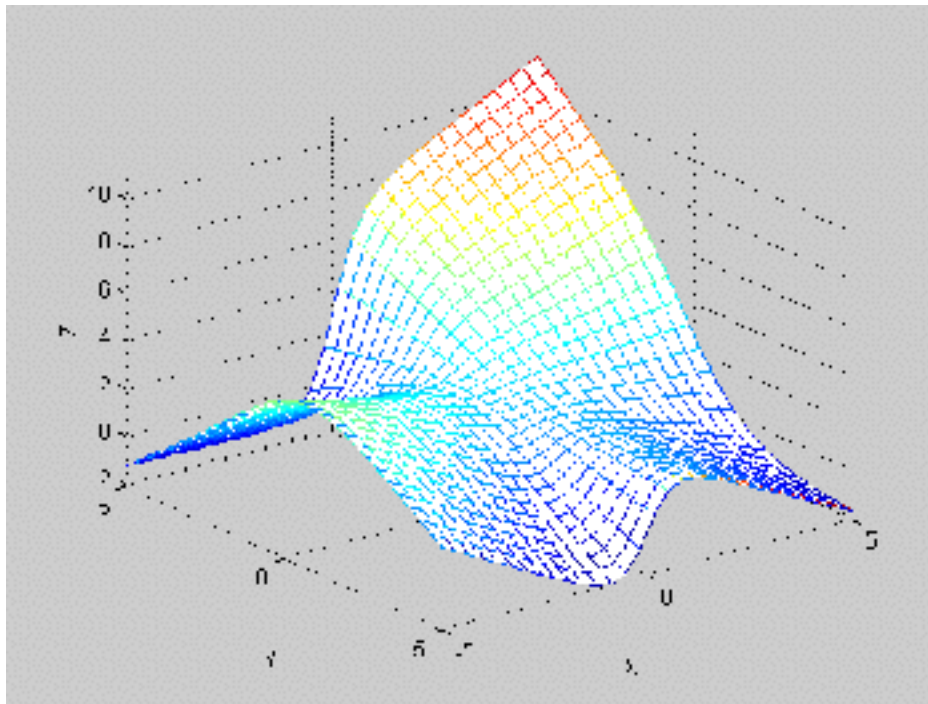
- Relación de entrada-salida no lineal

- Vista interna

- La base de reglas: Interfaz con el usuario
  - Experiencia es el conocimiento expresado mediante reglas (diseñador)

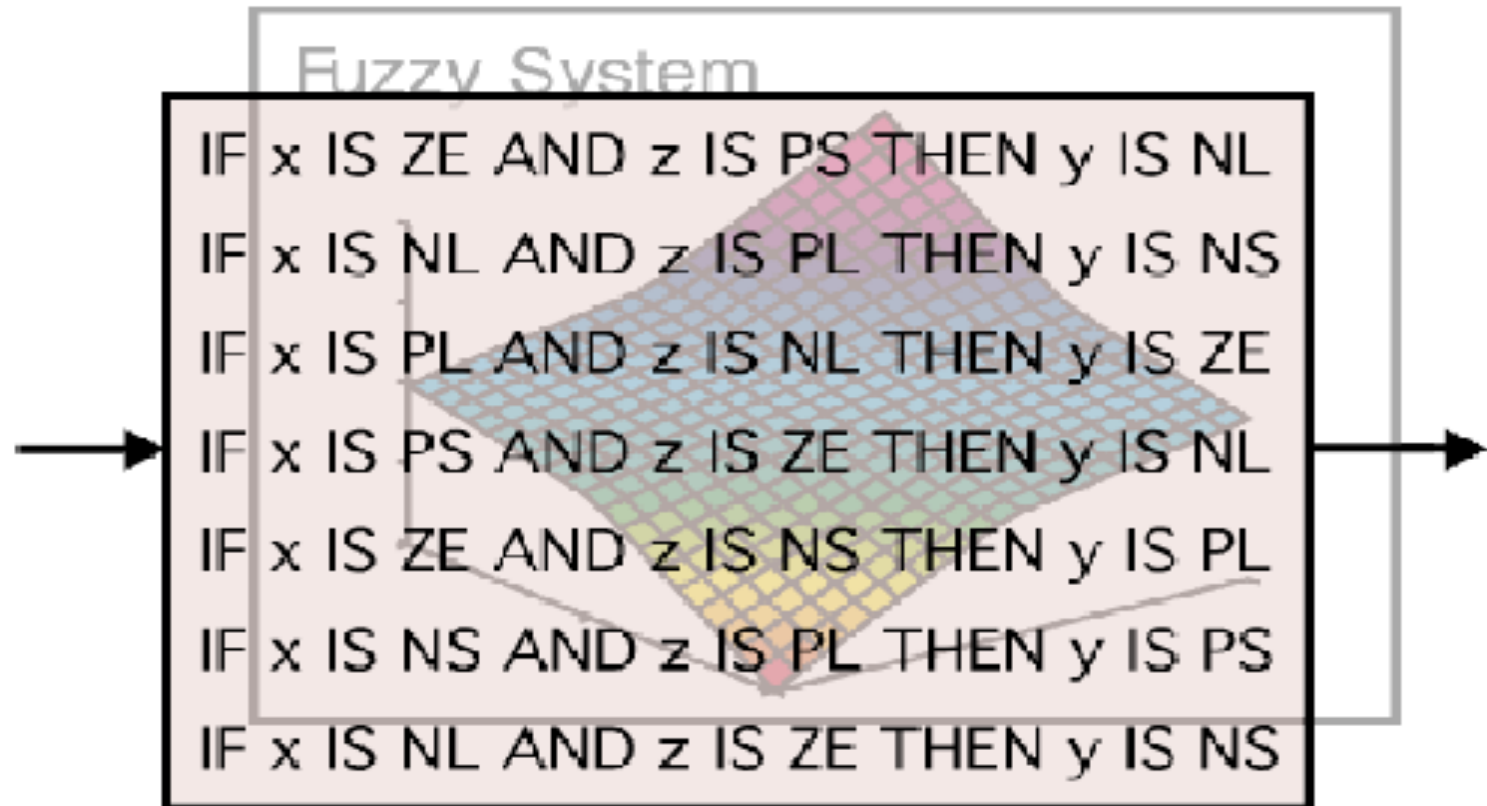
# Vista externa de un sistema difuso

Superficie total de entrada-salida



Un sistema difuso es un mapeo no lineal

# Vista interna de un sistema difuso



**Gracias**

# Referencia

**eMath Teacher:**

[http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/  
logica\\_borrosa/web/fuzzy\\_inferencia/main.htm](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/main.htm)