

# Debutar con FisPro

contact@fispro.org

15 de Marzo de 2018



FisPro (*Fuzzy Inference System Professional*) permite crear sistemas de inferencia difusa y utilizarlos con el propósito de razonamiento, sobre todo para la simulación de un sistema físico o biológico. Los sistemas de inferencia difusos se describen brevemente en el glosario de la lógica difusa que figura en el presente documento. Operan a partir de reglas de razonamiento difuso, que tienen la ventaja de la gestión de la progresividad de los fenómenos.

La implementación realizada en FisPro primero permite crear sistemas directamente desde el conocimiento experto de un dominio, por ejemplo, Enología . Este enfoque se ilustra mediante un ejemplo dado en la guía de Debutar con FisPro.

FisPro también permite diseño completo de un sistema de inferencia a partir de los datos numéricos del problema que queremos modelar. Muchos métodos de reglasapredizaje automático conducen desafortunadamente a los sistemas de "caja negra". En FisPro, para que el usuario entienda el funcionamiento del sistema, limitaciones se imponen en los algoritmos para hacer que las reglas de razonamiento sean interpretables ([1]). Este enfoque innovador constituye una de las originalidades del software. Algunos ejemplos se presentan en la guía de Aprendizaje con FisPro (solo disponible en inglés o en frances).

Ambos enfoques, escribiendo las reglas como experto y reglas automáticas se pueden combinar para crear sistemas más completos y eficientes. FisPro incluye herramientas con fines educativos, para ilustrar el mecanismo de razonamiento, y otros para medir el rendimiento de un sistema en un conjunto de datos.

Este software consta de dos partes bien diferenciadas: una biblioteca de funciones escritas en C ++, que se puede utilizar de forma independiente y la interfaz

de usuario, escrito en Java, que implementa la funcionalidad básica. Portátil, puede funcionar en la mayoría de las plataformas existentes.

El usuario que no está familiarizado con la lógica difusa, puede empezar por leer el glosario.

Las siguientes referencias son recomendables para un buena base en FisPro:

- Learning interpretable fuzzy inference systems with FisPro  
*Information Sciences*, 181:4409-4427, 2011.
- Fuzzy inference systems: An integrated modeling environment for collaboration between expert knowledge and data using FisPro  
*Expert Systems with Applications* 39:8744-8755, 2012.

Otras publicaciones relacionadas con los métodos o aplicaciones realizadas con FisPro están disponibles en *Publications*.

#### **Auteurs**

- Concepción y implementación C++: Serge GUILLAUME, Irstea, UMR ITAP (<http://ser.gui.free.fr/homepage>),  
Brigitte CHARNO MORDIC, INRA, UMR MISTEA (<http://www.inra.fr>)
- Java interfaz: Jean-Luc LABELLEE, Irstea, UMR ITAP
- Contribuciones:
  - C++
    - François OLIVIER, modulo de optimización, segun el libro de Pierre-Yves GLORENNEC, *Algorithmes d'apprentissage pour systèmes d'inférence floue*, Editions Hermès, 1999 ;
    - Sébastien DESTERCKE, metodo de inducción de reglas ols (minimos cuadrados)
    - Vincent THERRY, con la empresa Envilys, sistemas jeraquicos (superfis)
    - Russel STANDISH, version con calculo paralelo (OPENMP standard)
    - Hazaël JONES, concepción del modulo *reglas implicativas*
    - Lydie DESPERBEN, implémentation C++ de las *reglas implicativas*

- Java
  - Pierre-Marie BOYER, interfaz JNI (Java-C++) ;
  - Mathieu GRELIER, visualización de los datos (Tabla, 2D y 3D) ;
  - Anne TIREAU, interfaz java del modulo *reglas implícitas*
- Comunicación
  - Jean-Michel FATOU, iconos de FisPro et concepción grafica de la WEB
  - Moacir Jr PEDROSO, traducción al portugues de la interfaz
  - Juan Luis CORTI, traducción al español de *Debutar con FisPro*

### **Agradecimientos:**

El desarrollo inicial de FisPro beneficio del apoyo de fondos publicos, estado Frances y Region Languedoc-Roussillon, con el proyecto de investigación COST 2000-012, coordinado por TRANSFERTS LR y cuyo socio era *la cave coopérative "La Malepère", Arzens, Aude.*



FisPro es un *open source* software, disponible en la pagina

<https://www.fispro.org>

### **Nociones elementales**

Un sistema también se llama FIS, o sistema de inferencia borrosa.

La abreviatura FP (MF en inglés) se utiliza para la función de pertenencia o conjuntos difusos (fuzzy ver lógica glosario, 3 ).

Al iniciar FisPro, ningún sistema esta disponible.

Puede elegir entre abrir un sistema existente o crear uno nuevo, o bien automáticamente a partir de los datos, o a mano, elemento por elemento.

Esta guía introductoria explica la manera de hacerlo en este último caso, adaptada a definición experta de la regla.

**Notas:**

- Para la entrada numérica, el separador decimal es el punto (.).
- Cualquier edición, nueva entrada, de salida o FP nueva, es inmediatamente tomado en cuenta en el sistema. Las ventanas pop-up intermedias se pueden cerrar sin perder las modificaciones.
- Algunas opciones son dependientes del contexto. Cuando no están disponibles, las opciones aparecen en gris en los menús.
- Definición experta sólo utiliza el menú *FIS*. El menú *Aprendizaje* es para aprender más necesidades avanzadas (inducción de reglas automática).
- El menú *Datos* permite abrir un archivo de datos externo en formato de texto, visualizar datos y para realizar inferencia lote.

**Nota:**

La opción *Idioma* del menú Opciones permite elegir el idioma en el que desea para los mensajes y menús.

# Índice

<b>1. Crear un sistema simple</b>	<b>6</b>
1.1. Definir una nueva entrada . . . . .	6
1.2. Editar una entrada o una salida . . . . .	7
1.3. Definir una nueva salida . . . . .	7
1.4. Definición de una regla . . . . .	10
1.5. Inferir . . . . .	10
<b>2. Un sistema más complejo</b>	<b>11</b>
2.1. La variable de rendimiento . . . . .	11
2.2. Generar las reglas . . . . .	11
2.3. Ver los resultados de inferencia . . . . .	13
<b>3. Glosario elemental lógica difusa</b>	<b>16</b>

# 1. Crear un sistema simple

El primer ejemplo se crea un sistema muy simple: 1 entrada, 1 salida y las reglas 3.

La entrada es el grado en el vino, la salida es el precio que se paga al viticultor. Las reglas hacen que el cambio de precio en función de la titulación.

- En primer lugar elija la opción *Nuevo* en el menú de la *FIS*.
- El nombre predeterminado *Nueva FIS* aparece en el campo *Nombre*. Se trata de un campo de texto editable. Cambiar el nombre como *cooperativa*.
- La conjunción es el operador que se utiliza para combinar la FPs en la premisa de la regla. El operador por defecto es el mínimo.

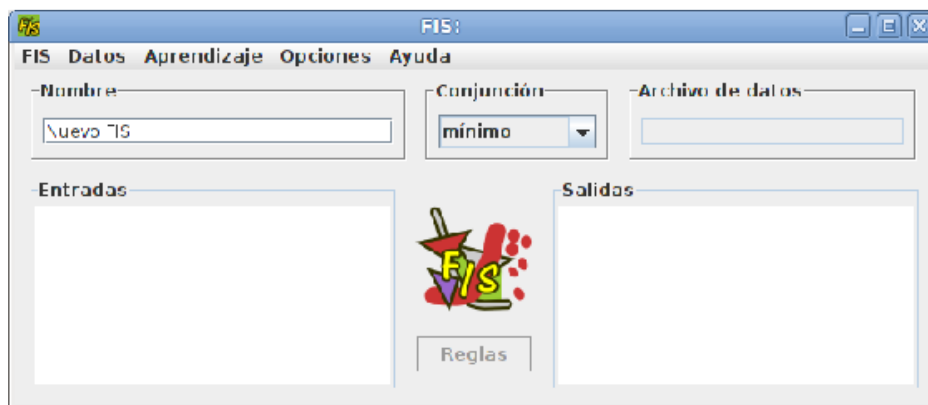


Figura 1: Ventana principal de FisPro

## 1.1. Definir una nueva entrada

Para agregar una nueva entrada, utilice la opción *Nueva Entrada* del menú *FIS*, o un clic derecho con el ratón en el área de *Entradas* de la ventana principal. La ventana de entrada aparece.

Una entrada se caracteriza por su rango y su partición borrosa. La partición difusa significa los conjuntos difusos (FP) que describen la entrada.

Puede ser activa (por defecto) o no.

Cambiar el nombre *Grado*.

- El rango de entrada por defecto es [0,1].  
Para cambiarlo, seleccione el menú Rango en la ventana de entrada e introduzca el nuevo valor de rango: aquí 9 y 14.
- La forma más sencilla de definir una partición es la opción *Cuadrícula irregular* de la FP menú, con el número de FPs correspondiente al número de quiera de términos lingüísticos (por defecto es de 3 términos), con los valores 11.5, 12 y 12.5.
- Las FPs se muestran en la mitad inferior de la ventana: semi trapezoidal FPs en límites del intervalo y triángulos en otros lugares.
- Para mayor claridad FIS, los nombres de FP son importantes ya que figuran en las reglas. Ahora damos nombres significativos:
  - FP 1: *Bajo* el nombre, los vértices 9, 11,5 y 12
  - FP 2: nombre *Medio*, los vértices 11,5, 12 y 12,5
  - FP 3: nombre *Alto*, los vértices 12, 12,5 y 14

Obtenemos la partición dada en la figura siguiente.

## 1.2. Editar una entrada o una salida

Para cambiar una entrada o salida, haga doble clic sobre su nombre en la ventana principal.

## 1.3. Definir una nueva salida

Para agregar una salida, utilice la opción *Nueva salida* del menú FIS, o con un clic derecho con el ratón en el área *Salida* de la ventana principal. El emergente *Output* aparece.

Cambiar el nombre *Precio*

Una salida se caracteriza principalmente por su alcance y su naturaleza: impresiones claras o salida difusa.

La naturaleza de salida influye en la inferencia borrosa.

Mecanismo:

- Con una salida nítida y la conclusión de la regla puede ser cualquier valor numérico.
- Con una salida difusa, la conclusión de la regla sólo puede ser el término lingüístico asociado con una FP de salida, por ejemplo, *bajo*, *medio*, *alto*.

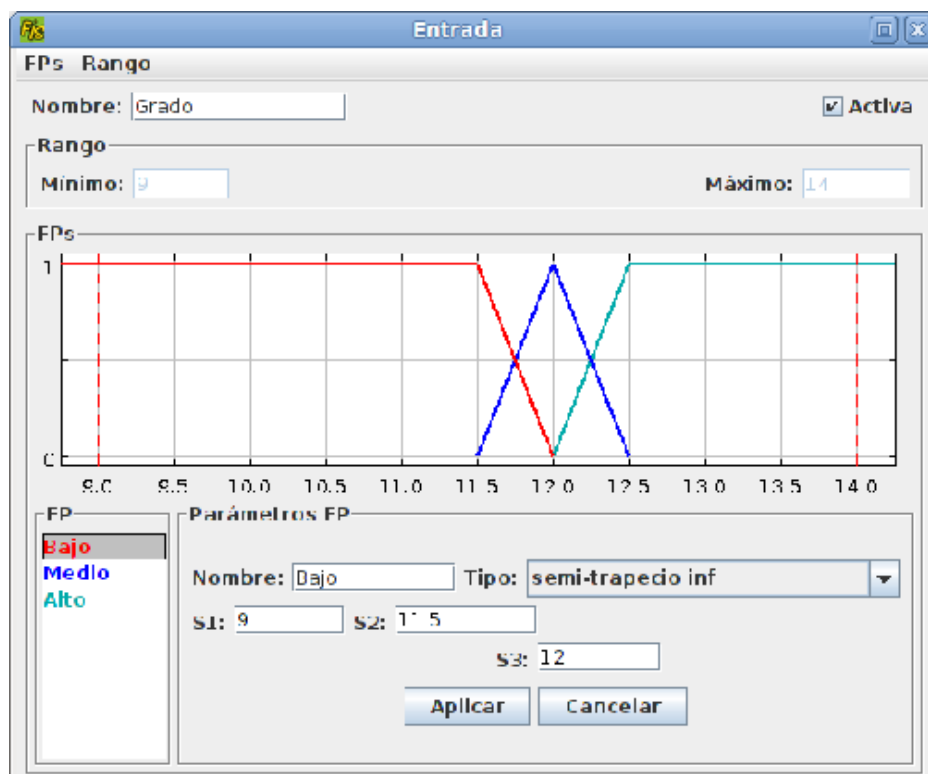


Figura 2: Definición de una entrada en FisPro



**Independientemente de la naturaleza de salida, el resultado de inferencia es un valor numérico.**

Otros parámetros:

- Valor predeterminado: es el valor del resultado de la inferencia para esta salida, si no hay regla es despedido por la inferencia.
- Defuzzificación y disyunción: opciones relacionadas con la forma de agregar las conclusiones de reglas (ver 3).
- clasif: marque esta casilla para redondear el resultado de inferencia a la más cercana clase de valor (valor discreto), para una salida nítida.

Las clases posibles son restringidas a los valores de conclusión de las reglas.

Si la salida es borrosa, su partición difusa debe ser definida, de la misma manera que para una entrada.

Salida

FPs Rango

Nombre: Precio  Activa

Rango

Mínimo: 200 Máximo: 600

Naturaleza  Clasificación

borrosa  crisp

Valor por defecto: -1

Defuzzificación: sugeno ▼

Umbral de alarma: 0

Disjuncion: sum ▼

Figura 3: Definir una salida en FisPro

## 1.4. Definición de una regla

Para crear reglas, haga clic en el campo *Reglas* en la ventana principal. La ventana *Reglas* aparece.

Una regla se agrega utilizando la opción *Nueva regla* del menú FIS, o haga un clic derecho en la columna. Estado emergente.

Haga clic sucesivamente en cada columna, para seleccionar el término lingüístico que aparecerá en la regla, o para introducir un valor numérico de salida (para salidas nítidas solamente).



Regla	Activa	SI Grado	ENTONCES Precio
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Bajo	200
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medio	300
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Alto	500

Figura 4: Definir reglas de FisPro

## 1.5. Inferir

La opción del menú *Inferencia FIS* muestra gráficamente el mecanismo de inferencia.

Los valores de entrada se introducen directamente o moviendo un cursor dentro de cada variable rango.

El valor de salida, resultado del proceso de inferencia, se muestra, junto con varios valores intermedios, que permiten comprender las diferentes etapas del razonamiento difuso:

Para cada regla:

- La membresía de grado de cada valor de entrada para cada FP que aparece en la regla premisa. Se muestra como una relación de área de llenado.
- La fuerza de la regla (grado de emparejamiento entre la regla y los datos de entrada). El grado de coincidencia es, en nuestro caso particular, el grado de pertenencia del valor de entrada a la FP involucrada en la regla, ya que el sistema tiene una sola entrada. En casos más complejos, es obtenido mediante la combinación (por la conjunción) de los grados FPs presentes en la premisa de la regla.

Se muestra como un valor numérico si la salida es crujiente, o como una relación de área llena si la salida es borrosa.

Para cada salida:

- El valor deducido se muestra en la parte superior, a la derecha, 480 aquí.

Salida de siendo marcado con un tipo defuzzificación Sugeno y una agregación de tipo suma, se obtiene un promedio simple de las conclusiones de las reglas, ponderado por los grados de emparejamiento, que se muestra a la derecha.

Para todos los niveles, incluido en el campo de la entrada de *Grado*, por lo que entre el 9 y 14, se puede obtener el precio correspondiente. El aumento en el precio es continua a través de capacidades de interpolación del sistema.

## 2. Un sistema más complejo

Vamos a hacer el ejemplo anterior más realista añadiendo una variable y cambiar las reglas para que se tengan en cuenta dos variables.

La entrada adicional es el rendimiento de la parcela.

El objetivo es reproducir el sistema de razonamiento sintetizado en la figura. El precio debe caer cuando el rendimiento aumenta, y debe levantarse con el grado. Hay límites, por debajo de un cierto grado, o por encima de un rendimiento dado.

### 2.1. La variable de rendimiento

Para agregar la entrada de *Rendimiento*, hacer como se indica en la sección *Definición de una entrada* (1.1).

Ajuste el rango de 50 a 100, y construir una red de partición normal con 4 FPs, con respectivos nombres: Bajo, Medio, Alto y Muy Alto. Usted recibirá la partición representado en la figura 7.

### 2.2. Generar las reglas

Deseamos escribir la base de reglas representada en la figura 8.

La forma más fácil es generar automáticamente la premisa de la regla, utilizando la *Generar reglas* en el menú de la *FIS*.

Esta opción genera las reglas correspondientes a todas las combinaciones posibles de las variables de entrada FP: *Grado* y *Rendimiento*,  $4 \times 3 = 12$  normas en nuestro caso.

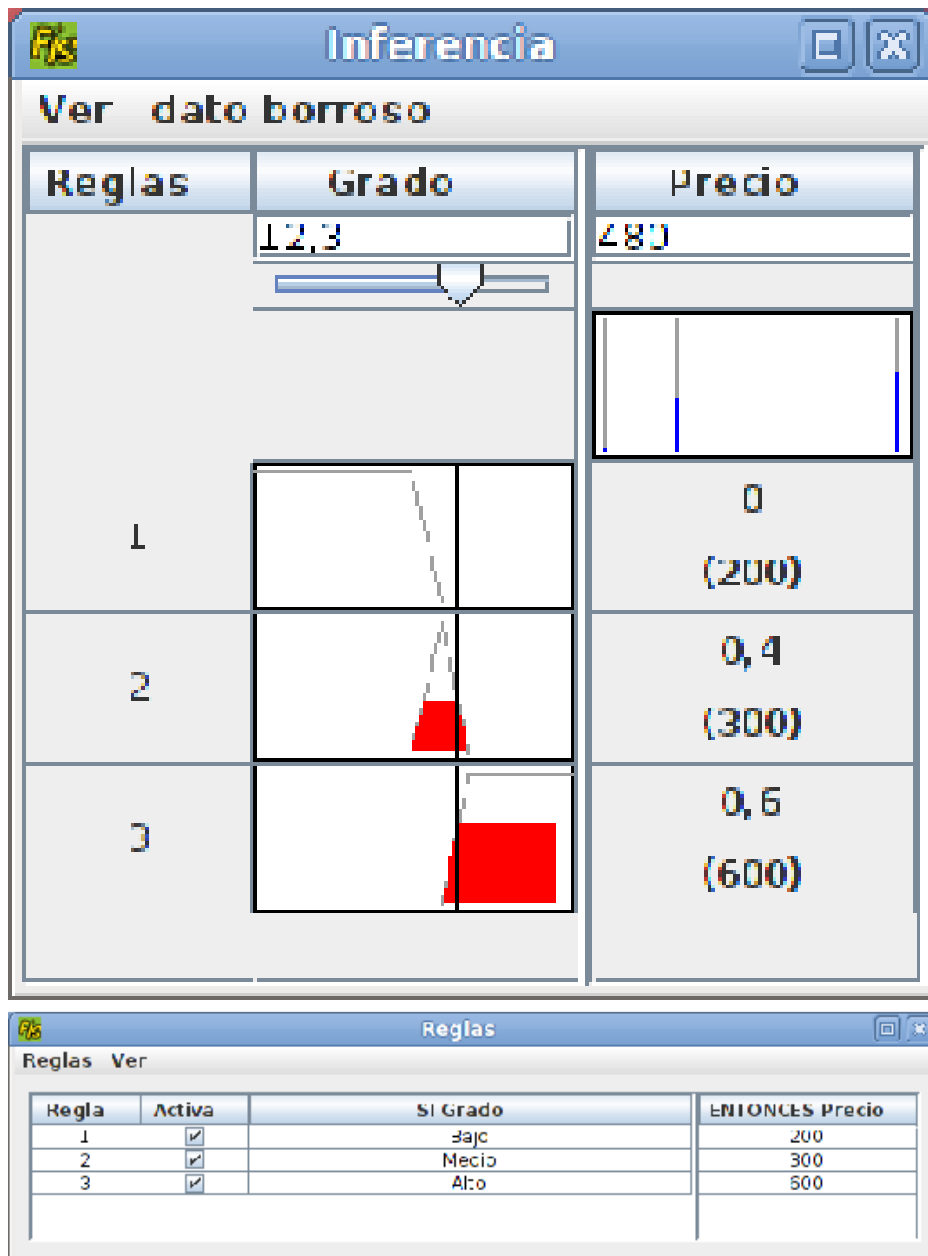


Figura 5: Inferencia en FisPro

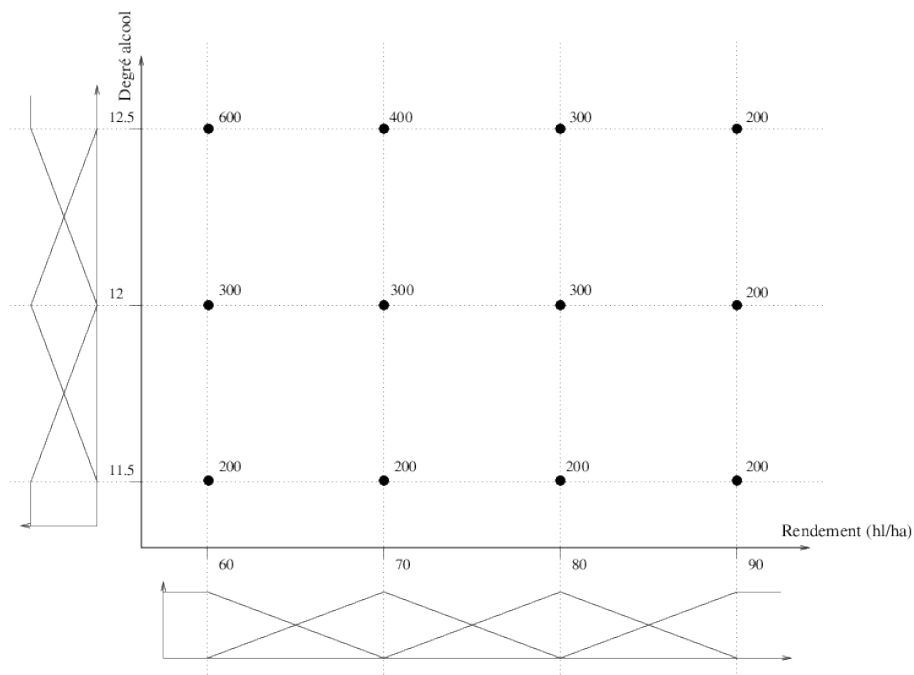


Figura 6: Remuneración de los cooperantes

Regla conclusiones se inicializa con un valor 1, y debe ser modificado.

Algunas de las reglas generadas se pueden simplificar. Esto se refiere a grados bajos y rendimientos muy altos. Primero quite las reglas inútiles, a continuación, introduzca las conclusiones de la regla en la columna Precio, tal como aparece en la figura anterior.

### 2.3. Ver los resultados de inferencia

Utilice la opción *Inferencia* en el menú FIS y cambiar los valores de las variables a su vez. El comportamiento del sistema difuso es como se esperaba y fácil de entender.

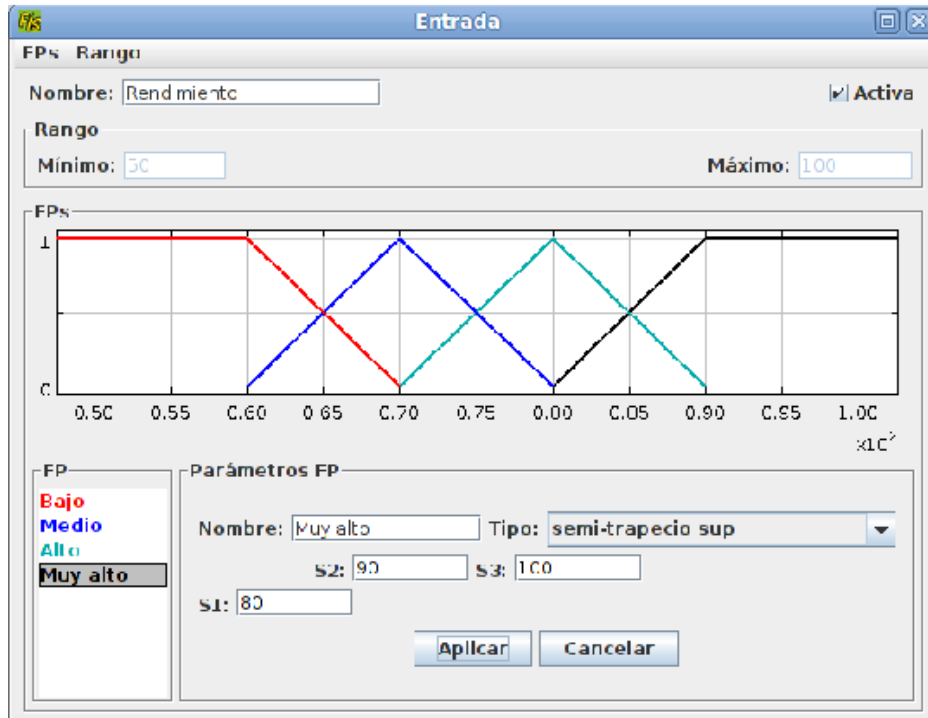


Figura 7: La variable rendimiento

Regla	Activo	SI Grado	Y Rendimiento	ENTONCES Precio
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Bajo		200
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Medio	Bajo	300
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Medio	Medio	300
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Medio	Alto	300
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Alto	Bajo	600
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Alto	Medio	400
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Alto	Alto	300
8	<input checked="" type="checkbox"/>		Muy alto	200

Figura 8: Base de reglas

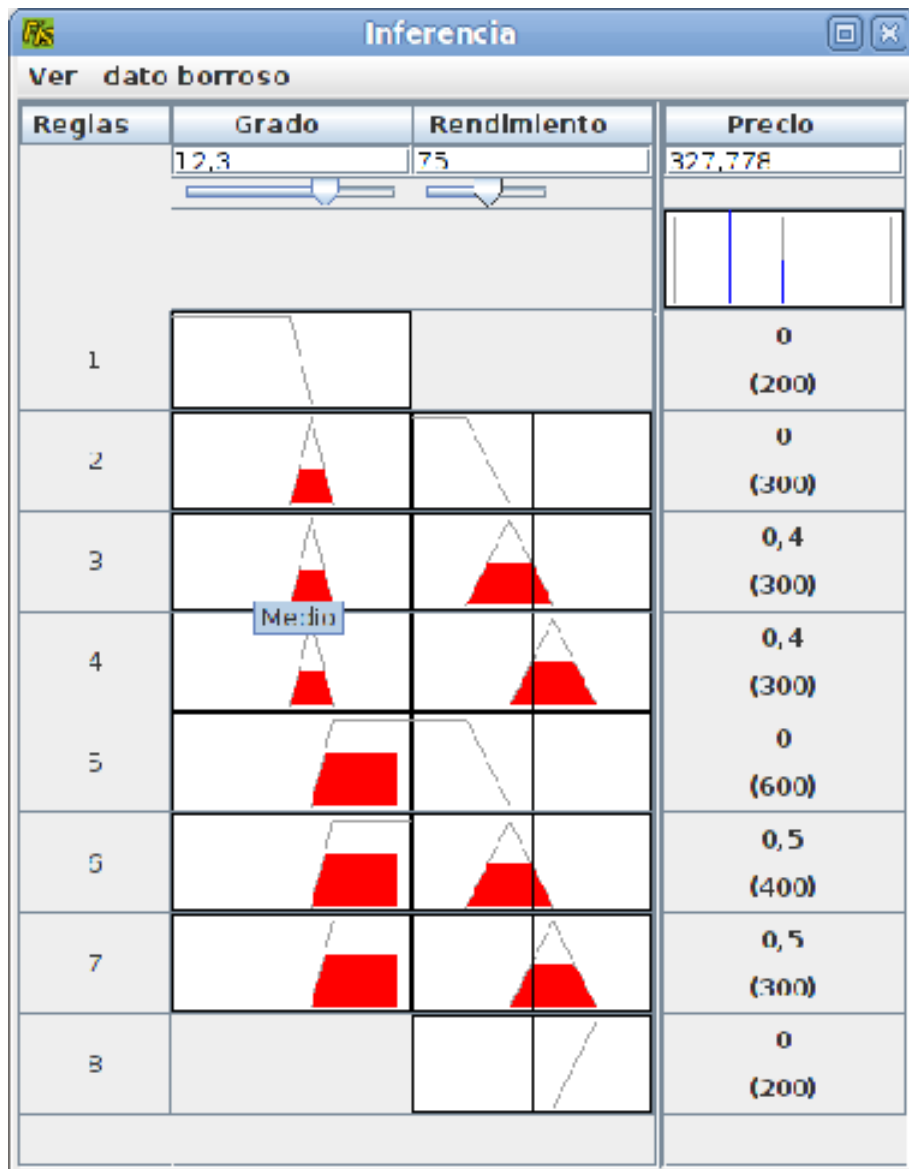


Figura 9: Inferencia del precio de la vendimia

### 3. Glosario elemental lógica difusa

- Conjunto difuso: Un conjunto difuso se define por su función de pertenencia. Un punto del universo,  $x$ , pertenece a un conjunto difuso  $A$  con un grado de pertenencia,  $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ .

La figura 10 muestra una función de pertenencia triangular.

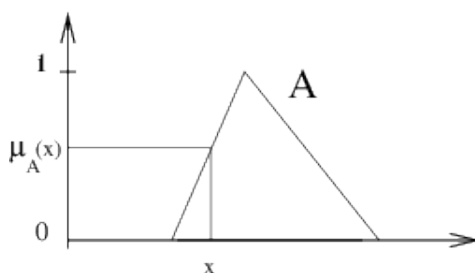


Figura 10: Un conjunto difuso triangular

- Prototipo de conjunto difuso: un punto es un prototipo de conjunto difuso si sus miembros grado es igual a 1.
- Operadores:
  - $Y$  : operador de conjunción, denotado  $\wedge$ , los operadores más comunes son mínimo y producto.
  - $O$  : operador disyunción, los más comunes son los máximo y suma.
  - $es$  : la relación  $x es A$  se cuantifica el grado de pertenencia de  $x$  al conjunto difuso  $A$ .
- Partición: Partición es la definición de los conjuntos difusos para una variable. Estos conjuntos se designan  $A_1, A_2, \dots$
- Estandarizado partición difusa: una partición difusa de la variable  $X_i$  se llama partición borrosa estandarizada si  $\forall x \in X_i, \sum_j \mu_{A_j^i}(x) = 1$ .



- Artículo: un objeto o individuo se compone de un  $p$ -dimensional vector de entrada  $x$ , y, finalmente, de un vector de salida  $q$ -dimensional,  $y$ .
- Regla difusa: Una regla difusa se escribe como **Si la situación entonces la conclusión**. La situación, la premisa de la regla llamada o antecedente, se define como una combinación de relaciones, tales como  $x$  es  $A$  para cada componente del vector de entrada. La parte final se llama consecuencia o conclusión.
- Hay dos tipos principales de reglas difusas:

1. Mamdani : Un tipo Mamdani regla difusa, la conclusión es un conjunto difuso, está escrito: K

$$SI x_1 \text{ es } A_1^i Y \dots Y x_p \text{ es } A_p^i \text{ ENTONCES } y_1 \text{ es } C_1^i \dots Y y_q \text{ es } C_q^i$$

donde  $A_j^i$  y  $C_j^i$  son conjuntos difusos que definen los espacios de partición de entrada y salida.

2. Takagi-Sugeno : En el modelo Sugeno de la conclusión de la regla es clara. Esta regla  $i$  para la salida  $j$  se calcula como una función lineal de las entradas:  $y_j^i = b_{j0}^i + b_{j1}^i x_1 + b_{j2}^i x_2 + \dots + b_{jp}^i x_p$ , también señaló:  $y_j^i = f_j^i(x)$ .

- Regla incompleta: una regla difusa se dice que es incompleta si su premisa es definido por un subconjunto de las variables de entrada solamente. La regla  $SI x_2 \text{ es } A_2^1 \text{ ENTONCES } y \text{ es } C_2$ , es incompleta porque la variable  $x_1$  no está involucrado en su definición. Reglas de los expertos son en su mayoría normas incompletas. Formalmente, una norma incompleta se define por una combinación de conectivas lógicas implícitas  $Y$  y  $O$  que operen en todas las variables. Si el universo de la variable  $x_1$  se divide en 3 los subconjuntos borrosos, La regla incompleta anterior también se puede escribir de la siguiente manera:

$$SI (x_1 \text{ es } A_1^1 O x_1 \text{ es } A_1^2 O x_1 \text{ es } A_1^3) Y x_2 \text{ es } A_2^1 \text{ ENTONCES } y \text{ es } C_2.$$

- Grado de veracidad: para una determinada norma,  $i$ , el grado de verdad, por ejemplo, también llamado peso, denota  $w_i$ , el resultado de una combinación de elementos de operación de la premisa:  $w_i = \mu_{A_1^i}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{A_p^i}(x_p)$ , donde  $\mu_{A_j^i}(x_j)$  es el grado de pertenencia del valor de  $x_j$  en el conjunto difuso  $A_j^i$ .
- Actividad: Un ejemplo activa una regla o una regla activa un ejemplo, si el grado de verdad de la regla, por ejemplo, es distinto de cero.
- Prototipo de una regla: un ejemplo es el prototipo de una regla si su grado de verdad a esta es una regla.
- Sistema de inferencia difusa (FIS): Un sistema de inferencia difuso consta de tres bloques, como se muestra en la figura 11. La primera etapa fuzzification convierte valores numéricos a diferentes grados de adhesión a la partición difusa. El segundo bloque es el motor de inferencia, que consiste en el conjunto de reglas. Por último, una etapa defuzzificación permite, si es necesario, para inferir un control de la red, utilizable por ejemplo, a partir del resultado de las reglas de agregación. El número de reglas del sistema se denota  $r$ .

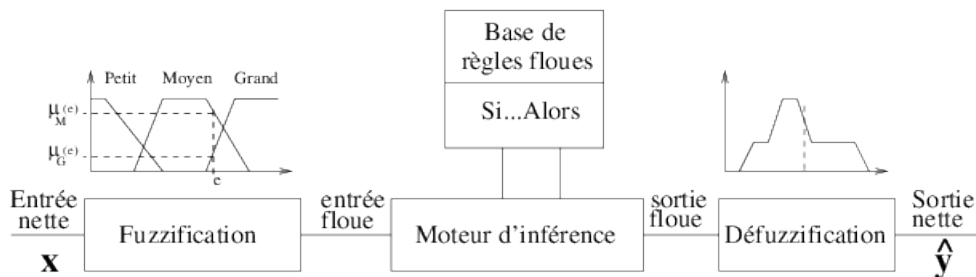


Figura 11: Un sistema de inferencia difusa

- Salida inferida por el sistema: el valor deducido para una entrada dada, depende por supuesto, sobre la base de las reglas, sino también los operadores de agregación y defuzzificación.

Normas de adición son disyuntiva, lo que significa que con cada regla se abre una nueva posibilidad para la salida. Los dos principales operadores

son **máximo y suma**. Los niveles de activación resultantes son  $r$  es el número de reglas y  $m$  el número de términos lingüísticos de la partición de la variable de salida:

- max:  $\forall j = 1, \dots, m$   

$$W^j = \left\{ \max_r (w^r(x)) \mid C^r = j \right\}$$
- sum:  $\forall j = 1, \dots, m$   

$$W^j = \min \left( 1, \left\{ \sum_r (w^r(x)) \mid C^r = j \right\} \right)$$

Varios operadores defuzzificación están disponibles. La figura 12 enseña la defuzzificación para un representante de las dos familias principales.

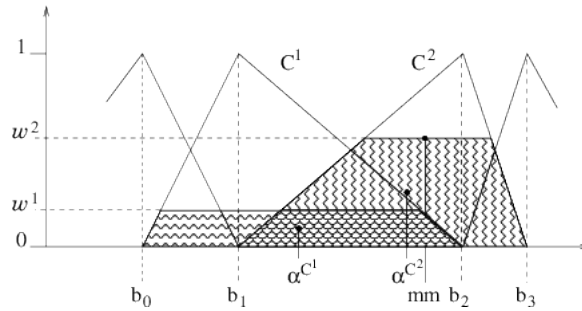


Figura 12: Un ejemplo de defuzzificación

Sea  $\hat{y}_i$  value deducirse, por ejemplo,  $i$ .

Con el **promedio de máximos**, el resultado es  $\hat{y}_i = mm$ . Este operador considera sólo el segmento correspondiente al nivel máximo de activación. Además, trabaja principalmente dentro de un término lingüístico. Otros valores promedio que son posibles, tales como el mínimo o máximo de los máximos.

El operador de **ponderación de áreas** promueve la interpolación entre los términos lingüísticos. La salida se calcula por la fórmula:

$$\hat{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^m \alpha^{C^j} \text{area}(C_\alpha^j)}{\sum_{j=1}^m \text{area}(C_\alpha^j)} \quad (1)$$

donde  $m$  es el número de conjuntos difusos en la partición,  $\alpha = W^j$  es el nivel de activación resultante de los  $j$ ,  $\alpha^{C^j}$  es la abscisa del centro de

gravedad de  $C_\alpha^j$ , et  $C_\alpha^j$  un nuevo conjunto difuso, definido desde  $C^j$  como :

$$\mu^{C_\alpha^j}(x_i) = \begin{cases} \mu^{C^j}(x_i) & \text{if } \mu^{C^j}(x_i) \leq \alpha \\ \alpha & \text{de otra manera} \end{cases}$$

- Aprendizaje supervisado: El aprendizaje supervisado es inducir a las relaciones entre las entradas y la salida de una dimensión de un sistema a partir de un conjunto de ejemplos. El conjunto de entrenamiento se compone de ejemplos  $n$ .

- Error Cuadrático promedio: MSE, se calcula como:

$$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \|\hat{y}_i - y_i\|^2$$

- Error promedio: A diferencia de la anterior, lo que equivale a una medición. Su expresión es:

$$ErM = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n \|\hat{y}_i - y_i\|^2} = \frac{\sqrt{EQM}}{\sqrt{n}}$$

## Referencias

- [1] L. A. Zadeh. Is there a need for fuzzy logic? *Information Sciences*, 178 (13):2751–2856, 2008.