



**Dpto. Sistemas Informáticos y Computación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

Técnicas, Entornos y Aplicaciones de Inteligencia Artificial

Fuzzy-CLIPS

1.- Variables difusas. Valores difusos, funciones de pertenencia. Modificadores.	2
2.- Hechos Difusos.	4
2.1.- Declaración de hechos iniciales: Deffacts	4
2.2.- Declaración de hechos difusos mediante expresiones ASSERT.	5
2.3.- Fusificación de valores Crisp	6
2.4.- Lectura de valores Crisp o valores difusos por consola.....	6
3.- Reglas difusas	7
4.- Inferencia difusa	9
5.- Defusificación	10
Anexo. Hechos estructurados. Templates.....	12

FuzzyCLIPS

FuzzyClips es una extensión fuzzy de CLIPS para manipular hechos y reglas difusas que ofrece un soporte para el desarrollo de sistemas expertos difusos en el entorno de CLIPS. FuzzyClips es de dominio público (desarrollado por el Inst. for Information Technology, National Research Council of Canada) y permite integrar datos y reglas difusas (imprecisas) y no difusas. FuzzyClips puede descargarse de poliformat.

La **instalación de FuzzyClips** consiste simplemente en copiar en un mismo directorio los componentes: FuzzyClips.exe y CLIPSEdt.exe. El presente documento es una simplificación de las funcionalidades presentes en FuzzyClips, que puede extenderse con la información en su manual.

1.- Variables difusas. Valores difusos, funciones de pertenencia. Modificadores.

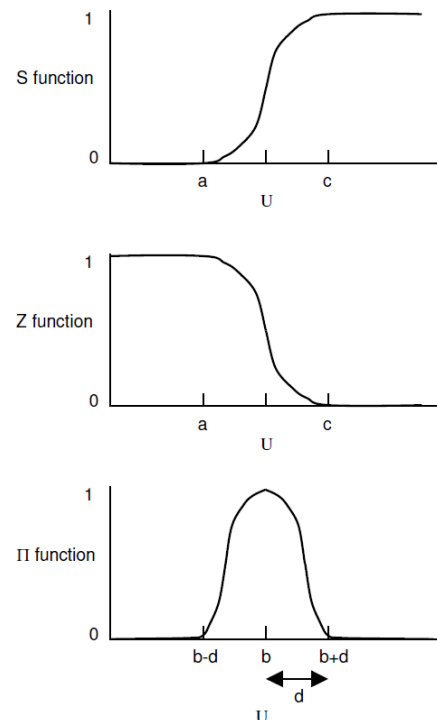
Las **variables difusas** se crean a partir de plantillas (**templates**), donde también se definen sus **valores difusos** (o valores lingüísticos) mediante las correspondientes funciones de pertenencia.

En la plantilla se define:

- La **variable difusa**, por ej. edad, temperatura, etc.
- **Universo** (límites del universo de valores)
- Los **valores difusos** que puede tomar, por ej. alto, medio, bajo, etc.
- Las **funciones de pertenencia** asociados a cada uno de los valores difusos.

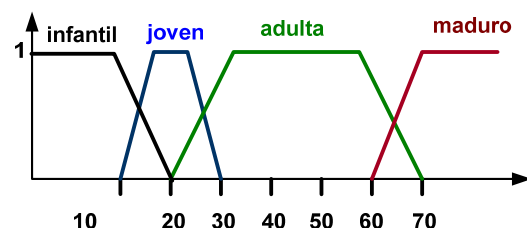
Las funciones de pertenencia se pueden definir de dos maneras diferentes:

- Definiendo los puntos característicos (función de pertenencia específica). Pueden indicarse tantos puntos como sea necesario. El último valor se mantiene hasta el límite superior del universo.
- Usando unas funciones ya predefinidas: s, z, PI (Más información en el manual).



Ejemplos:

```
(deftemplate edad ;Variable difusa
  0 120 años ;Universo
  ( (infantil (12 1) (20 0)) ;Valores difusos
    (joven (10 0) (15 1) (25 1) (30 0))
    (adulta (20 0) (30 1) (60 1) (70 0))
    (mayor (60 0) (70 1))))
```



```
(deftemplate singleton
  0 10 unit
  ( (tres (3 0) (3 1) (3 0))
    (cinco (5 0) (5 1) (5 0))))
```



```
(deftemplate estatura 0 250 cm
  ( (bajo (0 1) (100 1) (150 0))
    (medio (100 0) (150 1) (170 1) (180 0))
    (alto (170 0) (180 1))))
```

```
(deftemplate temperatura 30 50 grados
  ( (bajo (35 1) (37 0))
    (medio (35 0) (36 1) (37 0))
    (alto (36 0) (37 1))))
```

Es posible dibujar la función de pertenencia de un valor difuso (solo desde consola!):

(plot-fuzzy-value <salida> <chars> <low> <high> {<fuzzy-value>})

<salida>: indicación de la salida (t para la salida estándar)
 <chars>: caracteres para usar en el dibujo (típicamente *, +)
 <low>, <high>: límite inferior/superior del dibujo
 <fuzzy-value>: expresión que indica el valor a dibujar.
 Típicamente: (create-fuzzy-value variable valor)

Ejemplo:

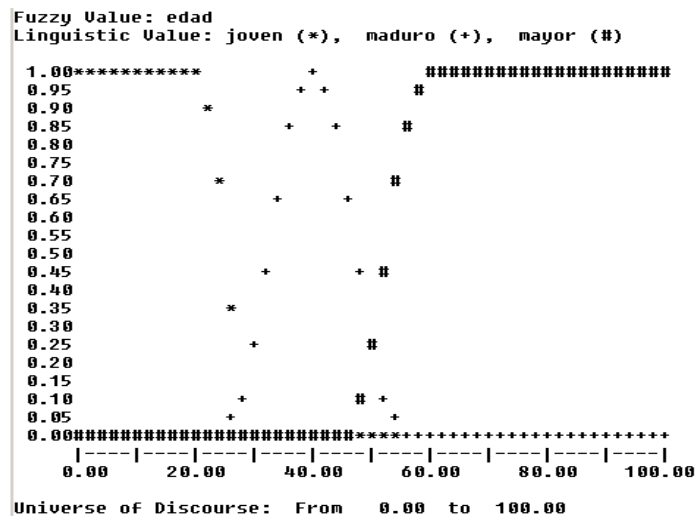
Asumido que se define:

```
(deftemplate edad 0 100 años
  ((joven (z 20 30))
   (maduro (PI 15 40))
   (mayor (s 45 60))))
```

Mediante la expresión:

```
(plot-fuzzy-value t "*" "+" 0 100 ;Solo en consola!
 (create-fuzzy-value edad joven)
 (create-fuzzy-value edad maduro)
 (create-fuzzy-value edad mayor))
```

Se obtendría:



Modificadores Lingüísticos

Los modificadores lingüísticos modifican la forma de un conjunto difuso previamente definido. Por ejemplo:

$$\text{very}(y) = y^2 \qquad \text{more-or-less}(y) = \sqrt{y}$$

FuzzyClips provee los siguientes principales modificadores lingüísticos:

not	$1-y$	very	y^2	somewhat	$y^{1/3}$
more-or-less	\sqrt{y}	extremely	y^3	plus	$y^{1.25}$

Por ejemplo, podemos tener:

```
(deftemplate estatura 0 250 cm
  ( (bajo (0 1) (100 1) (150 0))
    (muybajito extremely bajo)
    (medio (100 0) (150 1) (170 1) (180 0))
    (alto (170 0) (180 1))
    (muy-alto very alto)))
```

```
(deftemplate temperatura 0 80 grados
  ( (frio (z 10 25))
    (congelado plus frio)))
```

Los operadores lingüísticos también se pueden combinar con expresiones lógicas:

```
(deftemplate temperatura 0 80 grados
  ((frio (z 10 25))
   (calor (s 30 40))
   (templado not [ frio or calor ]))) ;hay que dejar un espacio después/antes de "[ ]"
```

2.- Hechos Difusos.

Un **hecho difuso** es una expresión de la forma:

(variable-difusa valor-difuso),
(variable-difusa modificador valor-difuso), o
(variable-difusa expresión-lógica-difusa),

Donde 'variable-difusa' debe haber sido definida previamente e incluir, entre sus valores, el valor-difuso que se aserta.

Las expresiones lógicas combinan valores difusos mediante expresiones **AND** (mínimo de los valores de las funciones de pertenencia), **OR** (máximo de los valores de las funciones de pertenencia) y **NOT** (1- función de pertenencia). **NOTA:** el operador AND tiene más prioridad que el OR.

Ejemplo

Una vez definidas las variables difusas 'edad' y 'estatura' anteriores, podemos tener como hechos difusos:

```
(edad adulta) (estatura very bajo), (edad adulta OR joven), etc.
```

a) Estos hechos pueden ser asertados mediante expresiones assert:

```
(assert (edad adulta)) (assert (estatura very bajo)) (assert (edad adulta OR joven))
```

b) O inicializados mediante expresiones deffacts:

```
(deffacts ejemplo
  (edad adulta) (estatura very bajo))
```

2.1.- Declaración de hechos iniciales: Deffacts

La expresión **deffacts** permiten declarar un conjunto de hechos iniciales crisp y fuzzy que se inicializarían con '(reset)'. Por ejemplo:

```
(deffacts ejemplo1
  (edad adulta)
  (estatura very alto))
```

Podemos, posteriormente, añadir nuevos hechos mediante expresiones assert.

2.2.- Declaración de hechos difusos mediante expresiones ASSERT.

Se pueden asertar nuevos hechos difusos mediante expresiones **assert**:

```
(assert ( <crisp-fact> |  
        fuzzy-variable-name <description of fuzzy set> ))
```

donde <description of fuzzy set> puede ser un <valor difuso> definido para la variable, o bien el par <modificador> <valor difuso>, o bien una expresión lógica difusa:

<description of fuzzy set> := <valor difuso> | < modificador> <valor difuso> | <fuzzy-logical-expresion>

Ejemplos:

Supongamos definidas las variables y sus valores difusos:

(deftemplate edad 0 100 años ((joven (10 0) (15 1) (25 1) (30 0)) (adulta (20 0) (30 1) (60 1) (70 0)) (madura (60 0) (70 1))))	(deftemplate estatura 0 250 cm ((bajo (0 1) (100 1) (150 0)) (medio (100 0) (150 1) (170 1) (180 0)) (alto (170 0) (180 1))))
--	---

Podemos declarar **hechos difusos** de la forma:

```
(assert (edad adulta))  
(assert (estatura very alto))
```

Asimismo, asumida definida la variable difusa:

```
(deftemplate grupo 0 20 miembros ;declaración de la variable grupo  
  ((pocos (3 1) (6 0)) ;valor pocos  
    (muchos (4 0) (6 1)))) ;valor muchos
```

Podemos asertar hechos como:

```
(assert (grupo pocos))  
(assert (grupo (1 0) (5 1) (7 0)) ) ;Nuevo valor  
(assert (grupo NOT [ very pocos OR muchos ] ) ) ;es necesario dejar un espacio junto a [ y ]  
(assert (grupo (z 4 8)))
```

IMPORTANTE

No se deben declarar o asertar hechos **no estructurados** que contengan hechos difusos o mezclados con hechos Crisp.

Por ejemplo, si asertamos:

```
(juan edad adulta)  
(juan edad adulta estatura bajo)  
(persona nombre adan edad adulta estatura alto)
```

Esta información la asumiría como información Crisp, es decir, no difusa.

2.3.- Fusificación de valores Crisp

Hemos visto cómo se puede asertar información difusa mediante expresiones `assert`. Pero hay casos en los que la información de partida es un valor Crisp, es decir un valor concreto no difuso.

Por ejemplo, imaginemos que sabemos que la edad es de 35 años y la altura de 172 cm y queremos asertar dicha información a variables difusas. Para ello podemos utilizar la siguiente función *fuzzify* que viene como ejemplo con el manual de usuario de FuzzyClips (ejemplo llamado `fuzzify.clp`):

```
(deffunction fuzzify (?fztemplate ?value ?delta)

  (bind ?low (get-u-from ?fztemplate))
  (bind ?hi (get-u-to ?fztemplate))

  (if (<= ?value ?low)
    then
      (assert-string
        (format nil "(%s (%g 1.0) (%g 0.0))" ?fztemplate ?low ?delta))
    else
      (if (>= ?value ?hi)
        then
          (assert-string
            (format nil "(%s (%g 0.0) (%g 1.0))"
              ?fztemplate (- ?hi ?delta) ?hi))
        else
          (assert-string
            (format nil "(%s (%g 0.0) (%g 1.0) (%g 0.0))"
              ?fztemplate (max ?low (- ?value ?delta))
              ?value (min ?hi (+ ?value ?delta)) )))
  )))
```

Esta función se puede invocar de la forma *(fuzzify edad-difusa 35 0.1)* y asertará el valor fusificado en la variable difusa *edad* mediante la expresión:

```
(assert-string "(edad-difusa (34.9 0) (35 1) (35.1 0))").
```

El rango de la función de pertenencia del valor asertado se establece en la llamada a la función. Particularmente, si queremos definir un valor *singleton*, será tan sencillo como invocar “(fuzzify edad 35 0)”.

Nota: Fuzzy-clips puede dar problemas si el valor crisp coincide con alguno de los extremos del intervalo definido para la variable difusa.

2.4.- Lectura de valores Crisp o valores difusos por consola

A menudo es útil introducir al sistema hechos que correspondan a valores leídos por consola, mediante la expresión `(read)`, y asertar dichos valores como hechos del sistema. Esto permite una mayor interacción con el usuario.

Sin embargo, fuzzy-clips **no permite asertar valores difusos que sean leídos directamente desde consola**. Los valores difusos necesitan ser explícitamente asertados mediante expresiones `assert` o `deffacts`.

Por ejemplo, si tenemos definidas las variables difusas *edad* y *estatura*:

(deftemplate edad 0 100 años	(deftemplate estatura 0 250 cm
(joven (10 0) (15 1) (25 1) (30 0))	(bajo (0 1) (100 1) (150 0))
(adulto (20 0) (30 1) (60 1) (70 0))	(medio (100 0) (150 1) (170 1) (180 0))
(madura (60 0) (70 1)))	(alto (170 0) (180 1)))

Podríamos asertar desde consola: `(assert (edad adulto))`. Pero no podríamos asertar un valor ‘adulto’ leyendo dicho valor en consola. Para poder introducir valores difusos, a partir de valores crisp o de símbolos (por ejemplo: alto, bajos, etc.) leídos por consola podemos utilizar la función `assert-string`.

➤ **Lectura de símbolos (como valores fuzzy):**

Podemos utilizar la siguiente regla para asertar como valor difuso el mismo símbolo (que representa un valor fuzzy) leído por consola.

```
(defrule leerconsola ;lee de consola un valor difuso y lo aserta
  (initial-fact)
=>
  (printout t "Introduzca la edad: joven, adulta, madura" crlf)
  (bind ?Redad (read))
  (assert-string (format nil "(edad %s)" ?Redad)) )
```

Esta regla también podría codificarse como una función para lectura de valores y su aserción fuzzy.

➤ **Lectura de valor crisp y aserción de su valor fusificado:**

Podemos usar la función **fuzzify** para asertar un valor difuso en función de un valor crisp leído:

```
(defrule leerconsola ;lee de consola un valor crisp y aserta su valor fusificado
  (initial-fact)
=>
  (printout t "Introduzca la edad en anyos" crlf)
  (bind ?Redad (read))
  (fuzzify edad ?Redad 0.1))
```

Y también, en caso de querer asertar la fusificación *singleton* de un valor crisp:

```
(defrule leerconsola ;lee de consola valor crisp y aserta su valor fuzzy singleton
  (initial-fact)
=>
  (printout t "Introduzca la edad en anyos" crlf)
  (bind ?Redad (read))
  (assert (edad (?Redad 0) (?Redad 1) (?Redad 0))))
```

3.- Reglas difusas.

Antecedentes

Los antecedentes de una regla difusa representan condiciones sobre hechos difusos o hechos crisp. Las condiciones fuzzy son de la forma:

```
(fuzzy-variable-name <linguistic-expr>) | (fuzzy-variable-name ?<var-name>) | (fuzzy-variable-name ? ) | (fuzzy-
variable-name ?<var-name> & <linguistic-expr>)
```

Donde <linguistic-expr> puede representar un valor difuso, con modificadores y/o expresiones lógicas (and/or).

Además, se admite el conjunto de patrones sobre valores crisp y condiciones <test>.

Consecuentes

El consecuente de una regla difusa utiliza las expresiones assert previamente vistas, así como el resto de funciones Clips.

EJEMPLO-1:

Supongamos la siguiente declaración de variable difusa:

```
(deftemplate tanque 0 80 litros
  ((bajo (10 1)(30 0))
   (medio (20 0)(35 1)(45 1)(60 0))
   (alto (50 0)(70 1))))
```

Y asertado el hecho simple: (assert (tanque plus alto))

```
Podemos escribir una regla: (defrule danger
                             (tanque extremely alto)
                             =>
                             (printout t "El tanque puede desbordarse. PELIGRO!" crlf)
                             (assert (alarma)))
```

Después de ejecutar (mediante “run”) se obtendría la conclusión alarma (CF=0.85), en la medida en que alto cumple (0.85) la condición de extremadamente alto.

Notas importantes:

- No es posible utilizar en una regla la función ‘test’ con valores difusos. Es decir:

```
(defrule example
  (tanque ?h))
  (test (eq ?h alto))
```

no haría matching difuso.

- La función (get-u-units ?h) devuelve un *string* que corresponde a las unidades en las que se ha definido el valor difuso ?h

También:

Función	Devuelve
(get-u-units <fact-index>)	Unidades del conjunto
(get-u-from <fact-index>)	Valor inferior universo
(get-u-to <fact-index>)	Valor superior universo
(get-u <fact-index>)	Rango del universo

- Para introducir valores Crisp, y que puedan hacer matching con valores difusos, es necesario utilizar la función *fuzzify* explicada en el apartado 2.3 o definir el valor Crisp como un valor difuso (de tipo singleton en la propia definición de la variable difusa).

EJEMPLO-2:

Conocemos que una persona tiene 25 años, y tenemos definidos los conjuntos difusos:

```
(deftemplate edad 0 100 años
  ( (joven (10 0) (15 1) (25 1) (30 0))
    (veinticinco (25 0) (25 1) (25 0))
    (adulta (20 0) (30 1) (60 1) (70 0))
    (madura (60 0) (70 1))))

;definimos el singleton, edad 25.

(deftemplate estatura 0 250 cm
  ( (bajo (0 1) (100 1) (150 0))
    (medio (100 0) (150 1) (170 1) (180 0))
    (alto (170 0) (180 1))))
```

Ahora tenemos el hecho inicial: (deffacts ejemplo (edad veinticinco))

Podemos tener la regla:

```
(defrule edades
  (edad adulta)
  =>
  (printout t "Los adultos son altos" crlf)
  (assert (estatura alto)))
```

La premisa (edad adulta) hará matching con el hecho difuso asertado (edad veinticinco). Análogamente, podíamos NO haber definido el singleton veinticinco y haber usado la función "(fuzzify edad 25 0)" del apartado 2.3. En el primer caso hemos definido un valor singleton que estará siempre disponible en la variable difusa edad, mientras que en el segundo caso simplemente asertamos información Crisp que está siendo fusificada.

4.- Inferencia difusa.

FuzzyClips utiliza el **modus ponens difuso** para obtener las consecuencias inferidas. Se puede elegir entre dos reglas composicionales, Max-min y Max-prod:

```
(set-fuzzy-inference-type <tipo>)
```

que son las dos reglas más utilizadas en el razonamiento difuso.

EJEMPLO: Inferencia difusa sobre el control de la temperatura de una habitación.

Primero definimos las variables difusas.

ENTRADA: TEMPERATURA.

```
(deftemplate Temp 5 50 Celsius
  ((frio (z 10 20))
   (templado (pi 5 25))
   (calor (s 30 40))))
```

SALIDA: APERTURA DE LA VALVULA

```
(deftemplate valvula 0 90 grados-apertura
  ((poco (z 10 30))
   (medio (pi 30 45))
   (mucho (s 70 80))))
```

Definimos las reglas:

```
(defrule hace_frio
  (Temp frio)
  =>
  (assert (valvula mucho)))
```

```
(defrule temperatura_buena
  (Temp templado)
  =>
  (assert (valvula medio)))
```

```
(defrule hace_calor
  (Temp calor)
  =>
  (assert (valvula poco)))
```

Tras los hechos iniciales:

```
(deffacts ejemplo
  (Temp very templado))
```

Lanzamos la ejecución (run), lo que asertará los valores correspondientes a la variable difusa válvula.

```
f-0      {initial-fact} CF 1.00
f-1      {Temp very templado} CF 1.00
f-2      {valvula medio} CF 1.00 1.25 0.01563 {21.56 0.04785} {21.88 0.09766}
- - - - -
```

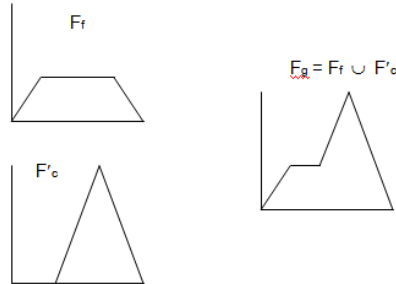
Podríamos utilizar una regla para defusificar dicho valor, y obtener un valor numérico (un ángulo) con el que girar la válvula (ver punto sobre defusificación):

```
(defrule defuzzificar
  (valvula ?val)
  =>
  (printout T "Apertura Valvula por moment: " (moment-defuzzify ?val) crlf)
  (printout T "Apertura Valvula por maximum: " (maximum-defuzzify ?val) crlf))
```

Nota sobre duplicación de hechos difusos

En Clips estándar si se aserta un hecho que ya existe no se permite duplicación de hechos. De esta forma, las reglas no se vuelven ejecutar sobre un mismo hecho. Sin embargo, en un sistema difuso, el refinamiento de un hecho difuso puede ser posible:

- a) Si se aserta un nuevo valor difuso a una variable, distinto al existente, se combinan ambos valores considerando una combinación OR ($F_g = F_f \cup F'_c$):



Por ejemplo, si asertamos: `(assert (Temp frio))`
`(assert (Temp templado))`

Se supone que se añade más información, y resulta el hecho: `(Temp [frio] OR [templado])`

- b) De esta forma, una regla previamente ejecutada sobre este hecho, volverá a ejecutarse con la nueva información.

Por ejemplo, si se aserta “`(assert (Temp frio))`” y se lanza la regla “`hace_frio`”, y posteriormente, se aserta “`(assert (Temp templado))`”, se puede ejecutar de nuevo la misma regla, con la nueva información, en la medida en que `(Temp templado)` satisfaga la premisa de la regla `(Temp frio)`.

5.- Defusificación.

Para realizar la defusificación de un conjunto difuso a un valor numérico, se dispone de dos funciones:

`(moment-defuzzify ?fuzzy-value | ?variable-fuzzy | integer)`, que aplica el algoritmo del centro de gravedad.

`(maximum-defuzzify ?fuzzy-value | ?variable-fuzzy | integer)`, que aplica la media de máximos.

El valor integer corresponde a la identificación de un valor en la base de hechos (identificado en la parte izquierda de una regla).

EJEMPLO-1:

Declaramos la variable difusa y las reglas:

```
(deftemplate edad 0 100 años
  ( (joven (10 0) (15 1) (25 1) (30 0))
    (adulta (20 0) (30 0.7) (40 1) (60 0.7) (70 0))
    (madura (60 0) (70 1))))

(defrule fuzzy1
  (edad ?f)
  => (bind ?e (maximum-defuzzify ?f))
      (printout t "En fuzzy1, edad es " ?e crlf))

(defrule fuzzy2
  (edad ?f)
  => (bind ?e (moment-defuzzify ?f))
      (printout t "En fuzzy2, edad es " ?e crlf))
```

Asertamos el hecho: `(assert (edad adulta))`, y tras lanzar la ejecución (`run`), obtenemos:

```
FuzzyClips> (run)
FuzzyClips> En fuzzy1, edad es 40.0
FuzzyClips> En fuzzy2, edad es 44.76923076923077
```

Debe notarse que, si por el contrario hubiéramos especificado: (assert (edad not adulta)), obtendríamos de acuerdo a los métodos de defusificación:

```
FuzzyClips> (reset)
FuzzyClips> (assert (edad not adulta))
FuzzyClips> (run)
FuzzyClips> En fuzzy1, edad es 47.5
FuzzyClips> En fuzzy2, edad es 52.51851851852
```

También:

```
FuzzyClips> (reset)
FuzzyClips> (assert (edad madura))
FuzzyClips> (run)
FuzzyClips> En fuzzy1, edad es 85.0
FuzzyClips> En fuzzy2, edad es 82.38095238095238
```

EJEMPLO-2:

Definamos un sistema que caracteriza la aptitud de una persona para jugar al baloncesto en función de su edad, su salud y su estatura.

```
(deftemplate edad 0 100 años ; definición de la variable fuzzy edad
  ( (joven (10 0) (15 1) (25 1) (30 0))
    (adulta (20 0) (30 1) (60 1) (70 0))
    (madura (60 0) (70 1))))

(deftemplate estatura 0 250 cm ; definición de la variable fuzzy estatura
  ((bajo (0 1) (100 1) (150 0))
    (medio (100 0) (150 1) (170 1) (180 0))
    (alto (170 0) (180 1))))

(deftemplate aptitud 0 10 unidades ; aptitud para jugar al baloncesto
  ((baja (0 1) (5 0))
    (media (3 0) (4 1) (6 1) (10 0))
    (alta (5 0) (10 1))))
```

Definimos una regla de clasificación y una para defusificar

```
(defrule ejemplo ; asignar_aptitud_jugar_baloncesto
  (edad joven)
  (estatura alto)
  =>
  (assert (aptitud alta)))

(defrule defusificar
  ?f <- (aptitud ?)
  => (bind ?e (maximum-defuzzify ?f))
      (printout t "Aptitud es " ?e crlf))
```

Ahora supongamos los siguientes hechos iniciales:

```
(deffacts fuzzy-fact
  (edad adulta)
  (estatura very alto))
```

Si ejecutamos, obtendremos:

```
FuzzyClips> Aptitud es 9.1666
```

Nótese que el nuevo hecho obtenido (ventana Facts) es: (aptitud ???), que está indicando que su aptitud es un valor difuso no previamente definido. Este nuevo valor difuso (en la medida en que hacen más o menos matching las premisas) es obtenido mediante la inferencia de los datos. Su defusificación obtiene el valor 9.16.

Nótese también que FuzzyClips representa, en los hechos obtenidos, la función de pertenencia del valor difuso inferido.

Anexo. Hechos estructurados. Templates.

Fuzzy-Clips permite la declaración de clases o templates como hechos estructurados. Una template contiene slots, los cuales solo pueden tener valores crisp¹. Una template se define de la forma:

(deftemplate <nombre-template> <crisp-slot>⁺ ⁺)

Los slots contienen valores crisp, del tipo que se indique:

<crisp-slot> ::= (slot <slot-name> [(type <tipo>)] [(default <valor>)])

donde <tipo> ::= SYMBOL | INTEGER | STRING |

Nota: si se declara de tipo entero, su valor por defecto es 0

Ejemplo: Podemos declarar el template:

```
(deftemplate persona
  (slot nombre (type SYMBOL))
  (slot altura (type INTEGER))
  (slot peso (type INTEGER))
  (slot seleccion (type SYMBOL) (default nil))
  (slot vive (type SYMBOL)))
```

Una vez declarado el template, los hechos iniciales se suelen declarar mediante la expresión deffacts:

```
(defacts prueba
  (persona (nombre david) (altura 184) (vive Valencia))
  (persona (nombre juan) (altura 164) (peso 70) (vive Sevilla))
  (persona (nombre maria) (altura 174) (vive Madrid)))
```

O también realizar aserciones como: (assert (persona (nombre luis) (vive Valencia)))

Las reglas expresan patrones que deben instanciarse sobre los hechos.

```
(defrule selección
  ?f <- (persona (nombre ?n) (altura ?a) (vive ?v) (seleccion nil))
  (test (> ?a 175))
  =>
  (printout t "seleccionado " ?n crlf)
  (modify ?f (seleccion si)))
```

Para ver más ejemplos de reglas puede verse el ejemplo sobre jarras del Tema-1.

En fuzzy clips podemos mezclar hechos estructurados (solo con slots crisp) y hechos no estructurados (crisp o difusos).

En las reglas, podemos tener patrones sobre hechos estructurados y condiciones sobre valores de slots crisp, así como condiciones sobre valores de variables difusas.

¹ Realmente sí se puede definir un slot difuso, pero Fuzzy Clips necesita que se inicialice siempre a un valor (teniendo poca utilidad práctica si representa una conclusion que debe calcularse mediante inferencia).

Evaluación de la Práctica

OBJETIVOS

El objetivo de la práctica es modelar un problema difuso y aplicar las técnicas de razonamiento difuso utilizando FuzzyClips.

La realización de esta práctica consiste en resolver el ejercicio propuesto. Tras el desarrollo de la práctica, su evaluación consistirá en rediseñar y evaluar pequeñas modificaciones del ejercicio propuesto.

Ejercicio. Mantenimiento de carreteras

Queremos diseñar un sistema difuso para ayuda a la toma de decisiones destinado al mantenimiento y mejora de carreteras. Este sistema evaluará y diagnosticará la necesidad de realizar actuaciones en el asfalto de carreteras en mal estado.

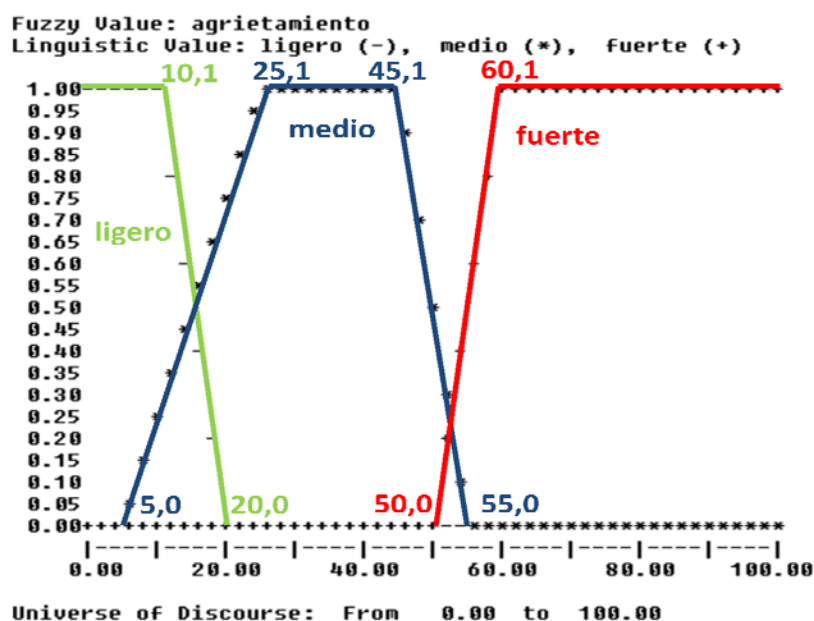


Existen múltiples factores que afectan al desgaste del asfalto de las carreteras, pero los expertos lo agrupan en dos grandes causas:

- El nivel de agrietamiento (debido al desplazamiento del suelo, asentamiento del terreno, presión de los vehículos de gran tonelaje que circulan, etc.), y
- La temperatura del asfalto (ya que los componentes del asfalto se congelan, alterándose con temperaturas bajas y se deforman con temperaturas altas).

El **nivel de agrietamiento** se mide mediante el porcentaje (%) de rotura del asfalto (calculado en base a las grietas que se observan en áreas de 0.5m x 100m). Este nivel de agrietamiento se corresponde con la variable difusa '**agrietamiento**' que tiene los valores difusos: '**ligero**', '**medio**' y '**fuerte**'.

Los grados de pertenencia de cada uno de estos valores (donde el universo de discurso es el porcentaje 0-100% de rotura del asfalto) se muestran en la siguiente figura:



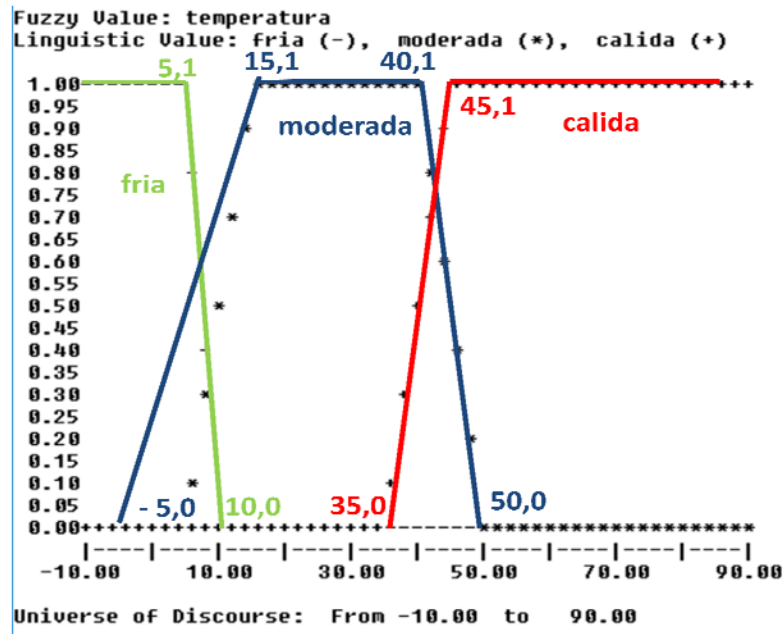
La **temperatura del asfalto** se evalúa considerando *las temperaturas extremas que son alcanzadas en más de 30 días* (no necesariamente consecutivos) al año. Por ejemplo, si se han alcanzado estas temperaturas durante un año:

Temperatura	-10 °C	-5 °C	0 °C	45 °C	50 °C	55 °C
Nº días	25	31	40		45	33	28

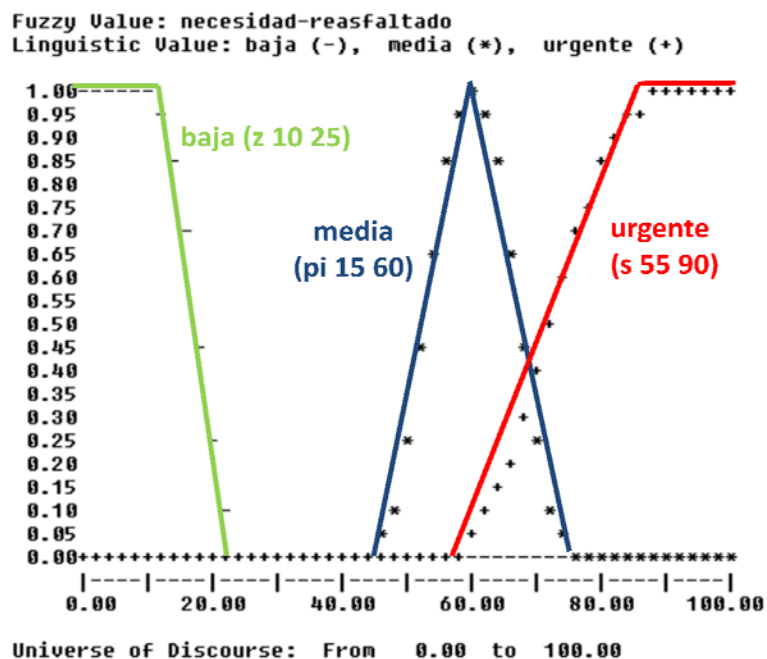
Nos quedaremos con los valores -5°C y 50°C (como valores extremos que se han alcanzado en más de 30 días).

La variable difusa '**temperatura**' tiene los valores difusos '**fría**', '**moderada**' y '**cálida**'. Los grados de pertenencia de estos valores (donde el universo del discurso es la temperatura desde -10°C hasta 90°C) se muestran en la siguiente figura.

De esta forma, según el ejemplo anterior, la variable difusa temperatura tendría los valores correspondientes a -5°C y 50°C para sus valores mínimo y máximo, respectivamente.



En base al nivel de agrietamiento y temperatura del asfalto, el sistema obtiene la '**necesidad de reasfaltado**' (**baja**, **media** o **urgente**). Los grados de pertenencia de cada uno de estos valores (donde el universo de discurso es 0-100, representando la prioridad de reasfaltado) son:



En base a estudios y observaciones, los ingenieros han definido la siguiente tabla de necesidades de reasfaltado en función del nivel de agrietamiento y temperatura del asfalto:

Agrietamiento vs. Temperatura	fria	moderada	cálida
ligero	<i>media</i>	<i>very baja</i>	<i>media</i>
medio	<i>urgente</i>	<i>baja</i>	<i>very urgente</i>
fuerte	<i>extremely urgente</i>	<i>somewhat media</i>	<i>extremely urgente</i>

A partir de esta información, el **modelo de carretera** que nos interesa representar debe contener la siguiente información no difusa:

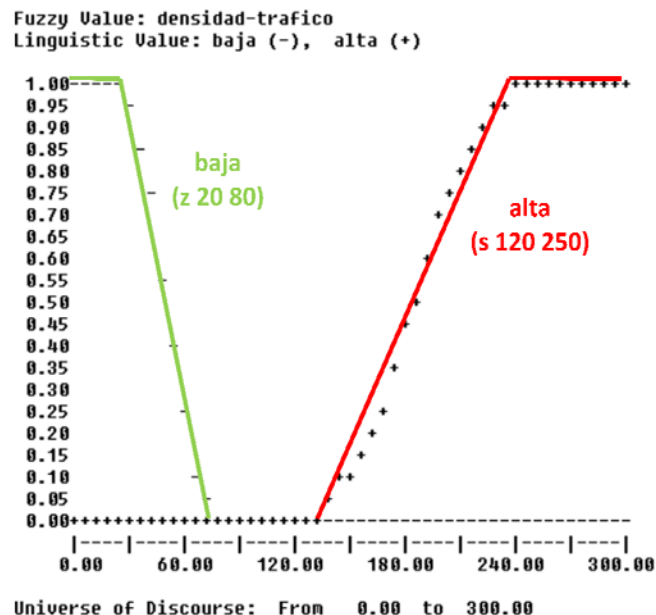
1. Identificador de la carretera (representado por un símbolo),
2. Nivel de agrietamiento (en porcentaje 0-100%)
3. Temperaturas extremas (mínima y máxima) del asfalto (en °C), alcanzadas en más de 30 días. Se solicitarán y almacenarán estos dos valores extremos.
4. Prioridad de reasfaltado (valor resultante de tipo FLOAT).

Los valores de los tres primeros datos serán solicitados al usuario, mientras que la ‘prioridad de reasfaltado’ (4) será el resultado a obtener, con valor de 0-100, que indica la prioridad de realizar tareas de mantenimiento en dicha carretera.

En otras palabras, el sistema debe calcular la **prioridad ‘crisp’ de reasfaltado**, obtenido mediante defusificación de la variable *difusa necesidad-reasfaltado*, la cual es obtenida mediante un proceso de inferencia difusa realizado a partir de los valores difusos de **agrietamiento y temperatura**. Estos valores difusos son obtenidos mediante la fusificación de los valores críps de **nivel de agrietamiento y temperatura mínima/máxima**, introducidos como entrada al sistema.

Será necesario fusificar los valores **crisp** de entrada utilizando la función fuzzify del apartado 2.3. Una vez obtenidas las sucesivas conclusiones difusas sobre ‘*necesidad-reasfaltado*’, habrá que defusificar el valor de dicha variable (regla de mínima prioridad) para obtener el valor crisp correspondiente. **La elección del método de defusificación se deja a elección del alumno.**

Adicionalmente, los ingenieros han planteado la siguiente mejora: el resultado final de la *necesidad-reasfaltado* debe reajustarse considerando también la densidad de tráfico pesado que soporta la carretera. La variable difusa ‘*densidad-trafico*’ tiene los valores difusos ‘*baja*’ y ‘*alta*’, donde los grados de pertenencia (siendo el universo del discurso el **número de vehículos por hora**, con valores 0-300) son:



De esta forma:

- a) Si la densidad de tráfico es **alta**, se deberá asertar el valor ‘**very urgente**’ para la *necesidad-reasfaltado*,
- b) Si la densidad de tráfico es **baja**, se deberá asertar el valor ‘**more-or-less baja**’ para la *necesidad-reasfaltado*

recalculando posteriormente la prioridad final de reasfaltado (*recordamos que en una variable difusa, los valores difusos se van acumulando*). Por lo tanto, se deberá añadir un nuevo slot en el template carretera, que almacenará la densidad de tráfico como un número de vehículos por hora (tipo INTEGER) y que será una entrada más del sistema.