

# INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

**Códigos: INFORMÁTICA DE SISTEMAS**  
PRUEBA PERSONAL  
CURSO 1997-98

**Código carrera: 40**    **Código asignatura: 209**  
1ª Semana  
**DURACIÓN: DOS HORAS**

1. Sea el conjunto de variables  $x, y, z, s$  y  $v$ , multivaluadas y la variable  $w$  de un único valor.

$R_1$ : Si  $x = a$   
       $x = b$   
Entonces  $z = f$

$R_2$ : Si  $x = b$   
Entonces  $z = g$   
       $x = c$

$R_3$ : Si *conocido*( $x$ )  
       $z \neq e$   
       $w > 0$

Entonces  $z = e$

$R_4$ : Si  $x = c$   
       $w < 30$   
Entonces  $v = h$

$R_5$ : Si  $y = d$   
       $w < 10$   
Entonces  $v = i$

$R_6$ : Si *conocido*( $x$ )  
       $z \neq e$   
Entonces  $y = f$

$R_7$ : Si  $y = d$   
       $z \neq e$   
Entonces  $y = d$

$R_8$ : Si  $v = h$   
       $z \neq e$   
Entonces  $s = d$

$R_9$ : Si  $v = h$   
       $z = e$   
Entonces  $s = d$

La base de hechos inicial (base de afirmaciones) contiene:  $BH_i = \{w = 5, x = b\}$

Suponga que el control del razonamiento o resolución de conflictos de este sistema utiliza una estrategia basada en el algoritmo de búsqueda “primero el mejor”. Para ello, considere que existe un criterio heurístico que determina el valor de una regla según la siguiente fórmula:

$$valor(R_i) = \underset{\forall r \in R}{valor - I(R_i)} \cdot 0.7 + \underset{\forall r \in R}{valor - 2(R_i)} \cdot 0.3$$

siendo:

$$\underset{\forall r \in R}{valor - I(R_i)} = \frac{1}{L(R_i)} \quad \left| \begin{array}{l} L: \text{longitud (número de cláusulas de } r) \end{array} \right.$$

$$\underset{\forall r \in R}{valor - 2(R_i)} = \frac{1}{i} \quad \left| \begin{array}{l} i: \text{ordinal de la regla} \end{array} \right.$$

**1.1** Suponiendo que está activo el *mecanismo de refractariedad*, ejecute dicho algoritmo representando el grafo expandido y determine el valor de la BH en cada uno de sus nodos. ¿Cuál es el conjunto de valores finalmente inferido?

**1.2** ¿Qué criterios de ordenamiento se han seguido en este caso? Explíquelos y justifique de forma genérica la utilización del primer criterio (*valor-I*).

## -----SOLUCIÓN-----

1.1 Dado que se parte de una cierta base de hechos inicial:  $BH_i = \{w = 5, x = b\}$  y, considerando que no se busca ningún objetivo previamente fijado, el motor de inferencia encargado de ampliar la base de hechos dada sigue el método de encadenamiento hacia delante, con la particularidad de que el algoritmo que decide en cada instante qué reglas deben aplicarse utiliza la estrategia estándar de búsqueda *primero el mejor*. Por otro lado, el mecanismo de *refractariedad* garantiza que no se van a producir repeticiones de reglas sin que se haya introducido nueva información. Recordar, igualmente, que el encadenamiento hacia delante no lleva implícito un proceso de búsqueda como el encadenamiento hacia atrás, por lo que el ordenamiento influye sólo en la secuencia de reglas utilizadas, pero no en cuáles se aplican, ya que *se terminan aplicando todas las posibles*.

- Inicialmente:

ABIERTA:  $A(Bh_i = \{w=5, x=b\}, \emptyset)$

CERRADA:  $\emptyset$

$$Bh_i = \{w=5, x=b\} \quad \boxed{A} \quad \boxed{1}$$

Figura 1

Los nodos en ABIERTA incluyen el estado de la base de hechos en dicho nodo y la regla aplicada para alcanzarlo. En CERRADA se incluye junto al nodo la regla aplicada entre paréntesis.

- La única posibilidad es expandir A utilizando la regla inicialmente aplicable (en dicha generación se incluye el nuevo estado de la base de hechos —en negrita las adiciones—, la regla aplicada y *se mantiene el ordenamiento* en ABIERTA según el criterio heurístico prefijado):

ABIERTA:  $B(Bh_B = \{w=5, x=b, z=g, x=c\}, R_2)$

CERRADA:  $A(\emptyset)$

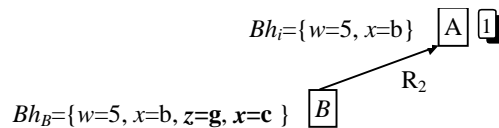


Figura 2

La única variación apreciable es la inclusión del consecuente de la regla empleada en la base de hechos.

- En este paso sólo se puede expandir B; es decir, introducirlo en CERRADA y generar todos sucesores:

ABIERTA:  $D(Bh_D = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h\}, R_4)$ ,  $E(Bh_E = \{w=5, x=b, z=g, x=c, y=f\}, R_6)$ ,  $C(Bh_C = \{w=5, x=b, z=g, x=c, z=e\}, R_3)$

CERRADA:  $A(\emptyset)$ ,  $B(R_2)$

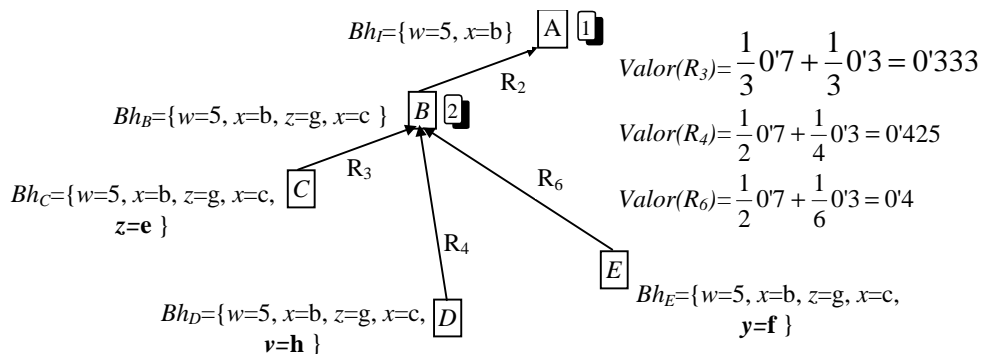


Figura 3

Como se puede comprobar en la figura 3, se han creado punteros a todos a todos los sucesores del nodo expandido.

- Ahora, considerando los valores de las reglas mostrados en la figura 3, el siguiente nodo más prometedor es D, ya que tiene un mayor valor de la función de evaluación heurística. Por tanto, se reordena abierta con los nuevos nodos y se introduce D en CERRADA:

ABIERTA:  $E(Bh_E = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h, y=f\}, R_6)$ ,  $F(Bh_F = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h, s=d\}, R_8)$ ,  $C(Bh_C = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h, z=e\}, R_3)$

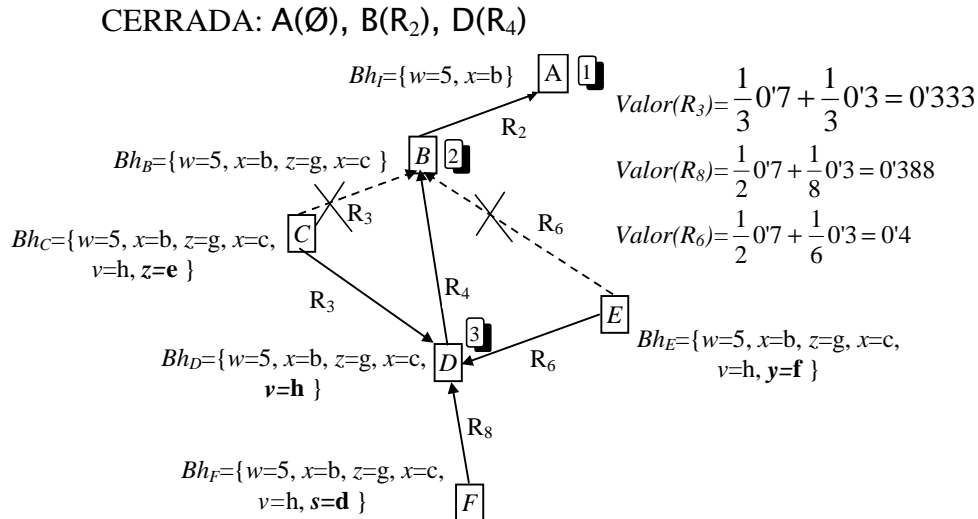


Figura 4

En la figura 4 se deberían haber dibujado con trazo discontinuo los punteros que podrían establecerse desde D hacia los nodos E y C, todavía sin expandir, y haber mantenido con trazo continuo los ya existentes desde éstos a B, tal y como se reflejaba en la figura 3, considerando que en este problema no hay ninguna variación del valor estimado cada vez que se calcula, ya que cada valor está asociado a la aplicación de una regla y no a las reglas que ya se hubieran aplicado previamente. Conviene recordar que el algoritmo *primero el mejor* se caracteriza precisamente por no considerar el camino recorrido hasta un nodo dado, el ordenamiento sólo depende del valor de estimación de la función de evaluación heurística (que en teoría mide la distancia estimada a la meta). Sin embargo, la propia lógica del problema, en el que se está determinando las reglas aplicables en cada paso del encadenamiento hacia delante, obliga a redirigir el puntero a D, ya que R<sub>4</sub> ya se ha aplicado en el paso anterior (*en realidad, una vez expandido un nodo se inicializa un nuevo grafo con una cierta base de hechos*). En concreto, una vez se ha aplicado R<sub>4</sub> se infiere  $v=h$ , por lo que esta variable también debería aparecer en la base de hechos que resultaría después de aplicar R<sub>6</sub>, R<sub>3</sub>, y R<sub>8</sub>, ya que todos pasarían a ser sucesores de R<sub>4</sub> en el grafo.

- Según el ordenamiento establecido en el apartado anterior, se aplica R<sub>6</sub> desde D. Es decir, se introduce E en CERRADA y se generan sus sucesores, que en este caso no afecta al conjunto de reglas aplicables, ya que no hay ninguna regla que tenga  $y=f$  en su antecedente.

ABIERTA: F( $Bh_F = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h, y=f, s=d\}$ , R<sub>8</sub>), C( $Bh_C = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h, y=f, z=e\}$ , R<sub>3</sub>)

CERRADA: A( $\emptyset$ ), B(R<sub>2</sub>), D(R<sub>4</sub>), E(R<sub>6</sub>)

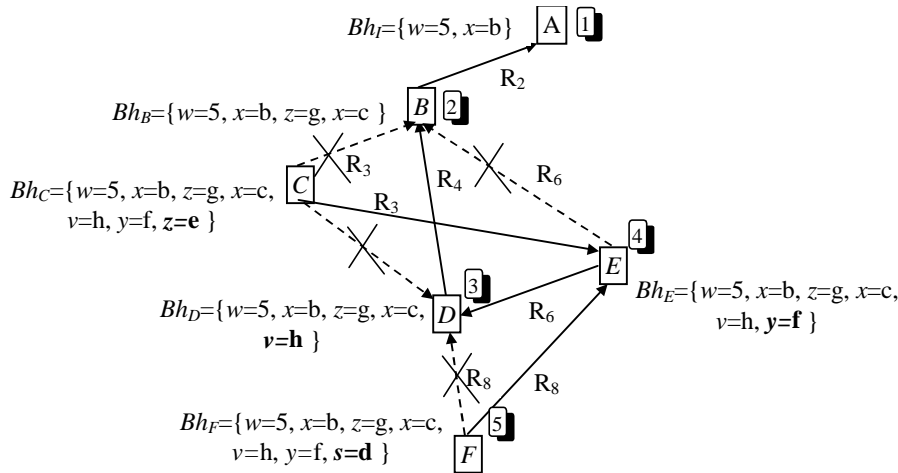


Figura 5

En la figura 5 se puede apreciar de nuevo la redirección de punteros hacia E desde el resto de las reglas que todavía pueden ser aplicadas (aquéllas que siguen en ABIERTA). Una vez más se hace hincapié en que esta redirección sólo ocurre para garantizar la lógica del problema y no porque la estrategia *primero el mejor* llegue a dicha conclusión.

- La siguiente regla aplicable es  $R_8$  que, tal y como se observa en la figura 6, hace que la base de hechos se incremente con  $s=d$ , por lo que también afectaría al resto de las reglas por aplicar, que en este caso se reduce a  $R_3$ . De nuevo se redirecciona el puntero al último nodo expandido, F.

ABIERTA: C( $Bh_C = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h, y=f, s=d, z=e\}$ ,  $R_3$ )

CERRADA: A( $\emptyset$ ), B( $R_2$ ), D( $R_4$ ), E( $R_6$ ), F( $R_8$ )

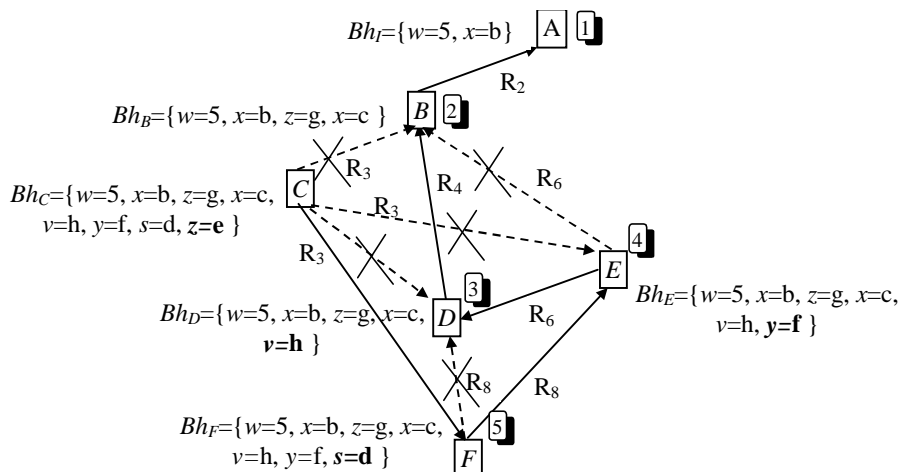


Figura 6

- A continuación se aplica la última regla pendiente  $R_3$ , introduciendo C en CERRADA. Gracias a este paso se introduce una nueva variable en la base de hechos,  $z=e$ , con lo que pasaría a estar disponible la regla  $R_9$ . En este caso sucede que la variable que debería ser añadida a la base de hechos,  $s=d$ , ya existía, por lo que no se produce ninguna adición (no hay ninguna variable en negrita).

ABIERTA: G( $Bh_G = \{w=5, x=b, z=g, x=c, v=h, y=f, s=d, z=e\}$ ,  $R_9$ )

CERRADA: A( $\emptyset$ ), B( $R_2$ ), D( $R_4$ ), E( $R_6$ ), F( $R_8$ ), C( $R_3$ )

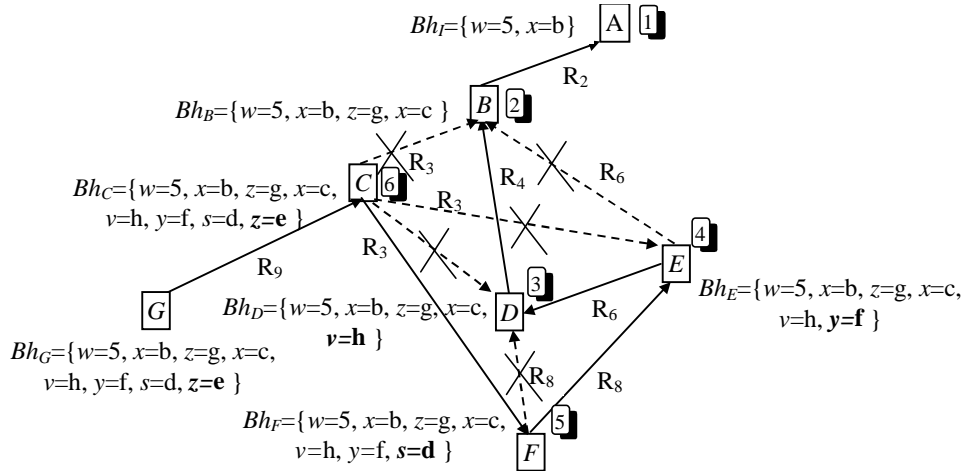


Figura 7

- Finalmente, se aplica R<sub>9</sub>, introduciendo G en CERRADA. Como no hay nuevas reglas aplicables, ABIERTA pasa a estar vacía y termina el algoritmo *primero el mejor*. En la figura 8 se puede seguir el ordenamiento establecido en la aplicación de reglas según dicha estrategia. También se puede seguir dicho orden observando el valor de la lista CERRADA.

ABIERTA:  $\emptyset$

CERRADA: A( $\emptyset$ ), B(R<sub>2</sub>), D(R<sub>4</sub>), E(R<sub>6</sub>), F(R<sub>8</sub>), C(R<sub>3</sub>), G(R<sub>9</sub>)

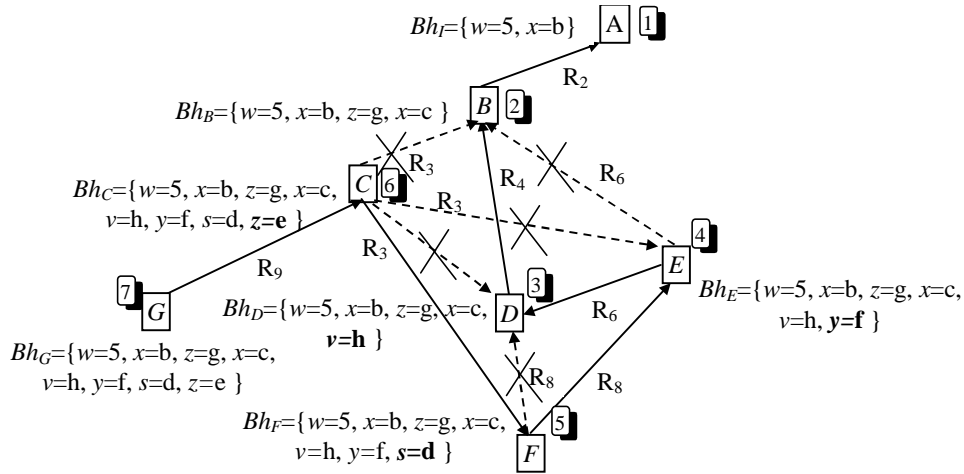


Figura 8

1.2 Se han utilizado dos criterios de ordenamiento alternativos. El primero, denominado *valor-1*, considera que la valía de una regla es inversamente proporcional al número de cláusulas en su antecedente. En otras palabras, se prefieren las reglas más generales. Por tanto, este criterio es el contrario al de *especificidad de la regla*. El segundo, denominado *valor-2*, establece un ordenamiento de las reglas en las que priman las que se han escrito primero (con un menor índice). Finalmente, se establece una ponderación de ambos criterios que muestra una confianza del 70% en el estimador que calcula la generalidad de la regla, siendo sólo el 30% restante la importancia dada al ordenamiento.

La justificación del primer criterio aplicado, la *generalidad de la regla*, depende del dominio de aplicación. En aquellos problemas que no están bien definidos el conocimiento utilizado suele ser el resultado de un proceso de conjeturas o hipótesis. En estos casos la información disponible puede que sea incompleta (falta por definir ciertas

variables), imprecisa o inconsistente (hay suposiciones que pueden devolver valores distintos para las mismas variables), o intratable (la complejidad del problema obliga a reformularlo; un caso concreto es el del ajedrez, donde existen  $10^{120}$  posibles decisiones). En este tipo de dominios, la prudencia debería primar en la selección de las reglas. Por ejemplo, sería lógico que un médico que ha llegado a una serie de conclusiones parciales (en forma de reglas) sobre una determinada enfermedad de carácter desconocido utilizara las reglas menos comprometidas primero, con el fin de evitar errores irreparables. En general, los problemas de clasificación basados en datos con posibles errores o en reglas de clasificación parcialmente conocidas, deberían utilizar primero las reglas más generales. El problema del tratamiento de los errores es que si hubiera aparecido alguno, al no ser consciente de que dicho caso es un error, se podría haber establecido una regla demasiado específica para clasificarlo, lo que influiría negativamente en clasificaciones futuras (en los sistemas que aprenden de forma autónoma a partir de un conjunto limitado de ejemplos preclasificados este problema se conoce con el sobrenombre de *ajuste excesivo*; en inglés, *overfitting*).