

Universidad Nacional de Educación a Distancia
Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas
Introducción a la Inteligencia Artificial (2º curso)

Soluciones exámenes junio 2009

Semana 1. Ejercicio 1. (Valoración: 3.25 puntos)

Realice un estudio comparativo de los siguientes métodos de representación de conocimiento: *método clásico de diagnóstico probabilista* (también conocido como *método probabilista clásico*) y *reglas*. Haga especial énfasis en los siguientes aspectos:

- Tipo de conocimiento que permiten modelar
- Tipo de inferencias que permiten realizar
- Dominios del mundo real en que aplicaría dichos métodos

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

a) Mientras que el *Método Probabilista Clásico* (MPC) utiliza un **grafo** como forma de representación, en un conjunto de reglas cada una de ellas está formada por un antecedente y un consecuente; no obstante, también se pueden utilizar grafos en diferentes contextos dentro de un sistema basado en reglas:

- Cuando en encadenamiento hacia delante se hace uso del algoritmo RETE para agilizar el proceso de resolución de conflictos.
- Cuando en encadenamiento hacia atrás se genera un grafo (árbol) de búsqueda, que es explorado en profundidad.

Mientras que en el MPC el grafo sólo consta de un nodo padre desde el que se traza un arco hacia cada uno de sus nodos hijo, los grafos mencionados anteriormente para el caso de encadenamiento de reglas pueden ser mucho más complejos.

En el MPC, cada nodo del grafo representa una determinada **variable**. Mientras que el nodo padre hace referencia a posibles diagnósticos o enfermedades, cada nodo hijo lo hace a un hallazgo. En una regla, el antecedente contiene condiciones que se deben cumplir para que la regla pueda ser ejecutada. En cada condición o cláusula del antecedente pueden aparecer hipótesis, datos, relaciones de comparación, relaciones de pertenencia y también variables. El consecuente de una regla está formado por conclusiones o acciones a desarrollar cuando la regla sea ejecutada. Dentro de las conclusiones, se pueden afirmar o retractar hechos.

En el MPC, los **valores** que puede tomar cada variable deben ser exclusivos y exhaustivos. Exclusivos significa que dos o más valores no pueden ser ciertos a la vez. Exhaustivos significa que no puede existir un valor diferente. En reglas, los valores que pueden tomar las variables o datos no tienen en principio las restricciones anteriores.

En el MPC, los **enlaces** expresan relaciones de causalidad o simplemente de dependencia probabilística. Una regla se asocia generalmente a una relación de causalidad o implicación. Se puede introducir incertidumbre en una regla a través de los factores de certeza de MYCIN o de la incorporación de conceptos difusos en el antecedente y consecuente.

El MPC define una serie de **relaciones de independencia** de forma implícita: los hallazgos son condicionalmente independientes entre sí dado el diagnóstico. En un sistema de reglas, las únicas relaciones que surgen entre los diferentes conceptos manejados en antecedentes y consecuentes se derivan del proceso de encadenamiento.

El MPC maneja una serie de **parámetros probabilísticos** asociados a cada nodo: para cada nodo sin padres, la probabilidad a priori de cada uno de sus valores, mientras que para cada nodo con padres, la probabilidad condicional de cada uno de sus valores dada cualquier posible configuración de valores de sus nodos padre. Una regla generalmente no tiene parámetros numéricos asociados. Únicamente en el caso del método de factores de certeza de MYCIN, se asocia un número comprendido entre -1 y 1 a cada regla.

b) En cuanto a la inferencia, en el MPC está basada en el Teorema de Bayes, mientras que en reglas se utiliza encadenamiento hacia delante o hacia atrás.

Mientras que en el MPC la inferencia persigue calcular la probabilidad a posteriori del nodo padre dado un conjunto de hallazgos sobre sus nodos hijo, en un sistema basado en reglas se pretende comprobar qué hechos se derivan (o si un hecho se deriva) de un conjunto de reglas contenidos en la base de conocimiento y de otros hechos contenidos en la base de afirmaciones.

c) Mientras que el MPC se suele aplicar a dominios con presencia de incertidumbre, un sistema basado en reglas se puede aplicar también a dominios deterministas. Mientras que el MPC está más enfocado al diagnóstico, las reglas modelan el conocimiento experto en cualquier dominio.

Semana 1. Ejercicio 2. (Valoración: 3 puntos)

¿Qué ventajas ofrece la *lógica de predicados con identidad* frente a la *lógica de predicados tradicional*? Dar una prueba del siguiente razonamiento lógico:

“Mi padre y el alcalde son la misma persona.”

“Todo aquel que roba es encarcelado.”

“Todo aquel que es encarcelado no vive en su casa.”

“El alcalde vive en su casa.”

Por tanto, “Mi padre no roba.”

SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

La lógica de predicados con identidad amplía la lógica de predicados tradicional con el predicado diádico “=”. Con “ $x = y$ ” se expresa que “ x ” e “ y ” se refieren al mismo elemento. La lógica de predicados con identidad introduce dos nuevas reglas:

1. $a = a$ siempre es cierto, sea cual sea la constante “ a ”.

2. $P(a)$

$a = b$

$\therefore P(b)$ para cualesquiera dos constantes “ a ” y “ b ”.

La prueba del razonamiento lógico del enunciado se hará por reducción al absurdo a partir de la siguiente representación:

$a \equiv$ “mi padre”

$b \equiv$ “el alcalde”

$R \equiv$ “robar”

$E \equiv$ “ser encarcelado”

$V \equiv$ “vivir en la casa propia”

1. $a = b$

2. $\forall x R(x) \rightarrow E(x)$

3. $\forall x E(x) \rightarrow \neg V(x)$

4. $V(b)$

$\therefore \neg R(a)$

5. $R(a)$

Negamos la conclusión que pretendemos demostrar

6. $R(a) \rightarrow E(a)$

A partir de 2

7. $E(a)$

A partir de 5 y 6

8. $E(a) \rightarrow \neg V(a)$

A partir de 3

9. $\neg V(a)$

A partir de 7 y 8

10. $V(a)$

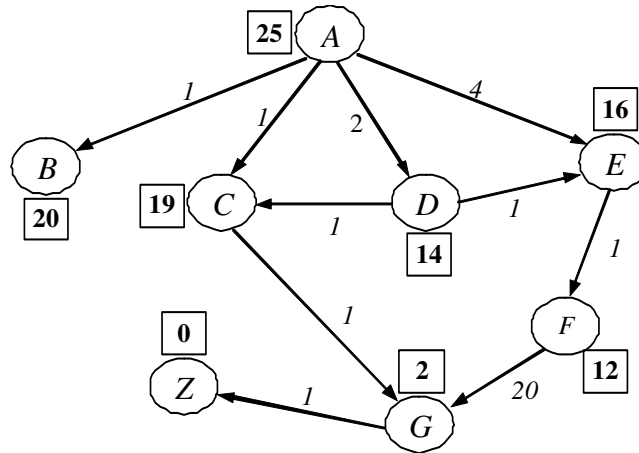
A partir de 1 y 4, contradiciendo a la fórmula 9.

Por tanto, queda demostrada la conclusión del enunciado, por reducción al absurdo.

Semana 1. Ejercicio 3. (Valoración: 3.75 puntos)

a) Aplicar *búsqueda primero el mejor* al siguiente grafo. A es el nodo inicial y Z el único nodo meta. Cada arco lleva asociado su coste y en cada nodo aparece la estimación de la menor distancia desde ese nodo a la meta. Dibujar en cada etapa del algoritmo el subgrafo parcial creado y la situación de las listas ABIERTA y CERRADA.

b) Aplicar a dicho grafo también el algoritmo AO*. Téngase en cuenta que todos los enlaces que aparecen son de tipo OR.



SOLUCIÓN por Severino Fernández Galán:

a) Búsqueda primero el mejor:

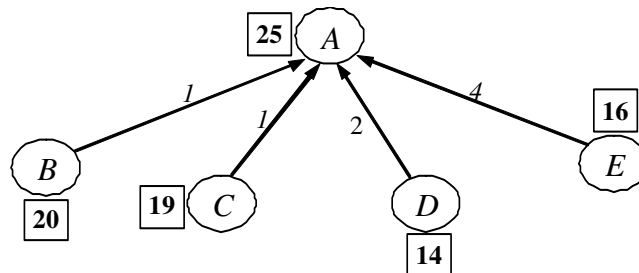
Ciclo 1:



ABIERTA: {A(25)}

CERRADA: {}

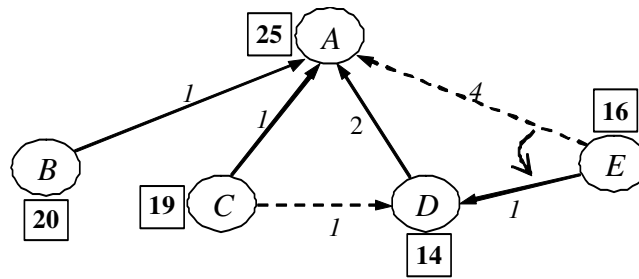
Ciclo 2: Se expande A



ABIERTA: {B(20), C(19), D(14), E(16)}

CERRADA: {A}

Ciclo 3: Se expande D

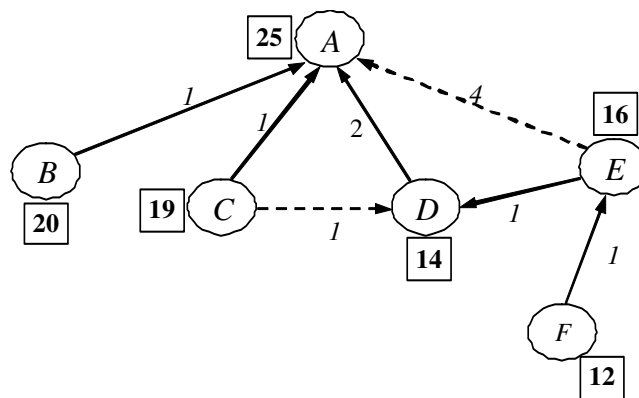


ABIERTA: $\{B(20), C(19), E(16)\}$

CERRADA: $\{A, D\}$

Nótese que ha habido una redirección del enlace del árbol parcial de costes mínimos que parte de E .

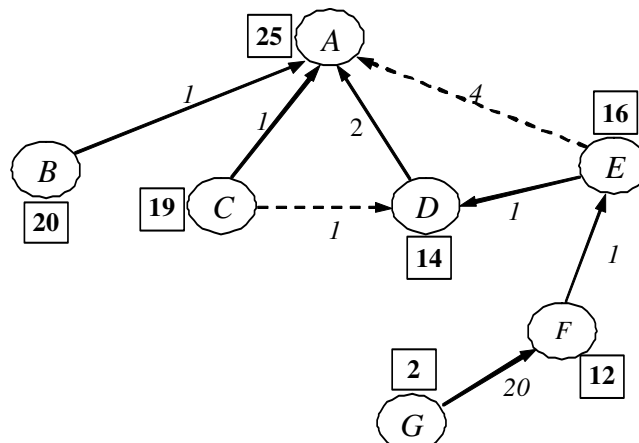
Ciclo 4: Se expande E



ABIERTA: $\{B(20), C(19), F(12)\}$

CERRADA: $\{A, D, E\}$

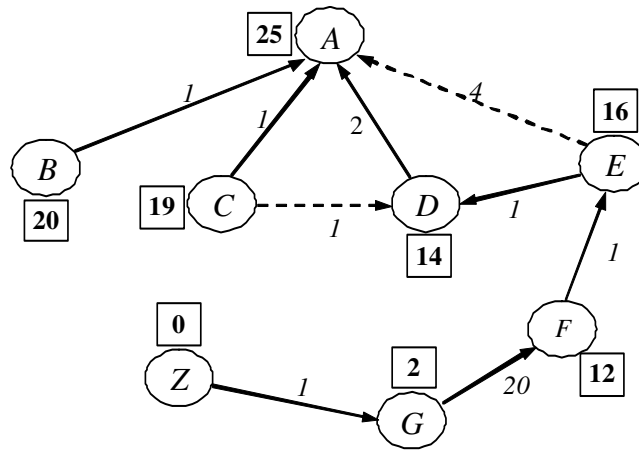
Ciclo 5: Se expande F



ABIERTA: $\{B(20), C(19), G(2)\}$

CERRADA: $\{A, D, E, F\}$

Ciclo 6: Se expande *G*



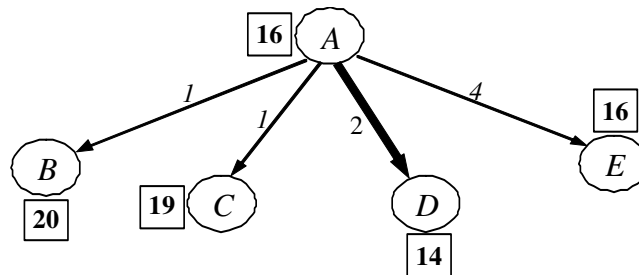
Camino solución encontrado: $A \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow Z$

b) Algoritmo AO*:

Seguidamente se describe cada ciclo del algoritmo, en cada uno de los cuales primeramente se expande un nodo hoja cualquiera del subgrafo solución parcial que cuelga del nodo *A* y a continuación, si es necesario, se actualizan hacia arriba los costes de los subgrafos solución parciales que cuelgan de los nodos antepasados del nodo expandido. Para ello utilizaremos un conjunto denominado *S* tal que si sacamos un nodo de *S* y hay que actualizarlo, entonces introducimos en *S* los padres del nodo actualizado. De *S* se irán sacando aquellos nodos que no tengan descendientes en *S*. Inicialmente, el nodo hoja expandido es el único elemento contenido en *S*.

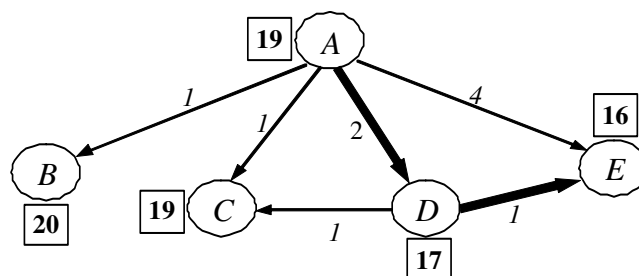
Ciclo 1: Se expande *A*. La evolución del conjunto *S* es la siguiente:

- 1) $S = \{A\}$
- 2) Se saca *A* de *S*. Su nuevo coste es $14+2 = 16$.
- 3) $S = \{\}$



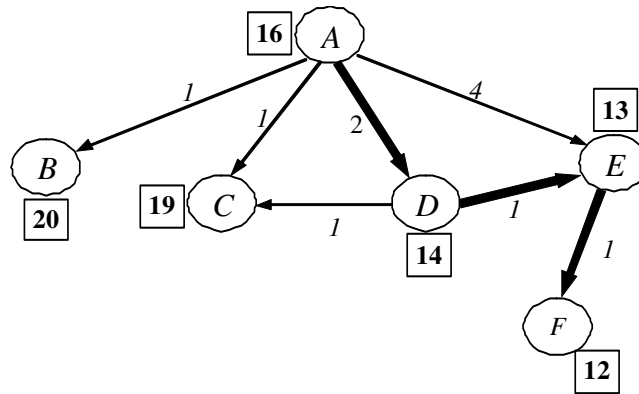
Ciclo 2: Se expande *D*. La evolución del conjunto *S* es la siguiente:

- 1) $S = \{D\}$
- 2) Se saca *D* de *S*. Su nuevo coste es $16+1 = 17$. Se mete *A* en *S*.
- 3) $S = \{A\}$
- 4) Se saca *A* de *S*. Su nuevo coste es $17+2 = 19$.
- 5) $S = \{\}$



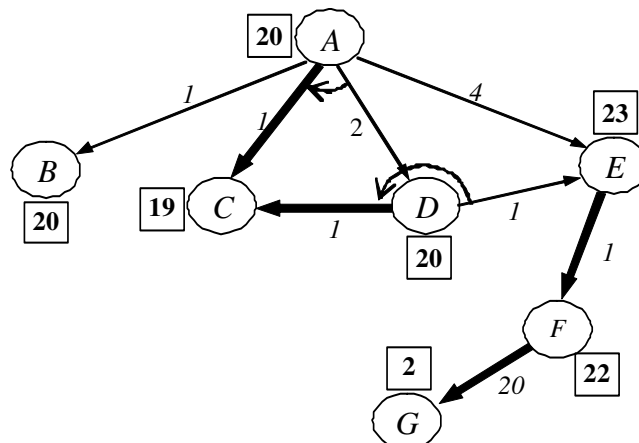
Ciclo 3: Se expande E . La evolución del conjunto S es la siguiente:

- 1) $S = \{E\}$
- 2) Se saca E de S . Su nuevo coste es $12+1 = 13$. Se meten A y D en S .
- 3) $S = \{A, D\}$
- 4) Se saca D de S por no tener descendientes en S . Su nuevo coste es $13+1 = 14$. No hay que meter A en S , puesto que ya está en dicho conjunto.
- 5) $S = \{A\}$
- 6) Se saca A de S . Su nuevo coste es $14+2 = 16$.
- 7) $S = \{\}$



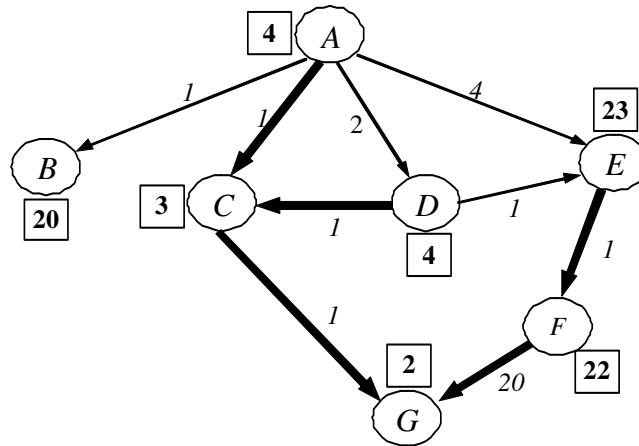
Ciclo 4: Se expande F . La evolución del conjunto S es la siguiente:

- 1) $S = \{F\}$
- 2) Se saca F de S . Su nuevo coste es $2+20 = 22$. Se mete E en S .
- 3) $S = \{E\}$
- 4) Se saca E de S . Su nuevo coste es $22+1 = 23$. Se meten A y D en S .
- 5) $S = \{A, D\}$
- 6) Se saca D de S por no tener descendientes en S . Su nuevo coste es $19+1 = 20$. (Hay redirección del enlace que cuelga de D .) No hay que meter A en S , puesto que ya está en dicho conjunto.
- 7) $S = \{A\}$
- 8) Se saca A de S . Su nuevo coste es $19+1 = 20$. (Hay redirección del enlace que cuelga de A .)
- 9) $S = \{\}$



Ciclo 5: Se expande C . La evolución del conjunto S es la siguiente:

- 1) $S = \{C\}$
- 2) Se saca C de S . Su nuevo coste es $2+1 = 3$. Se meten A y D en S .
- 3) $S = \{A, D\}$
- 4) Se saca D de S por no tener descendientes en S . Su nuevo coste es $3+1 = 4$. No hay que meter A en S , puesto que ya está en dicho conjunto.
- 5) $S = \{A\}$
- 6) Se saca A de S . Su nuevo coste es $3+1 = 4$.
- 7) $S = \{\}$



Ciclo 6: Se expande G . Se ha encontrado un camino (o grafo YO) solución hasta la meta: $A \rightarrow C \rightarrow G \rightarrow Z$ de coste $1+1+1 = 3$.

Semana 2. Ejercicio 1. (Valoración: 3 puntos)

Considere un Sistema Basado en Reglas con la siguiente base de conocimientos:

R1 = $N, A \rightarrow C$

R2 = $M, B \rightarrow N$

R3 = $A, B, E \rightarrow D, \text{not } E$

R4 = $B, D \rightarrow F, \text{not } B$

R5 = $C \rightarrow \text{not } A$

R6 = $A, B, C \rightarrow M, \text{not } C$

R7 = $C \rightarrow E$

R8 = $M, B \rightarrow A$

R9 = $B, S \rightarrow T$

R10 = $M, B, N \rightarrow S, \text{not } M$

Entendemos que cada coma representa un “and” lógico. Aquellos elementos que estén afirmados en la parte derecha de la regla entrarán en la base de afirmaciones en el caso de que no estuvieran previamente. Aquellos elementos que estén negados en la parte derecha de la regla, “not”, salen de la base de afirmaciones en el caso de que estuvieran previamente.

Utilizando como control del razonamiento en primer lugar la especificidad y en segundo lugar, en caso de colisión, aquella regla de índice menor, detallar los pasos para resolver las siguientes cuestiones:

- Siendo nuestra base de afirmaciones inicial $\{A, B, C\}$ y utilizando encadenamiento basado en objetivos, intentar obtener F .
- Siendo nuestra base de afirmaciones inicial $\{M, B\}$ y utilizando encadenamiento basado en datos, intentar obtener T .
- Dado el conjunto de reglas que contienen un “not” en el consecuente, ¿qué efecto tiene dicho “not” si se decide aplicar refractariedad como primer método de resolución de conflictos en encadenamiento hacia adelante?
- Dado el conjunto de reglas que contienen un “not” en el consecuente, ¿qué efecto tiene dicho “not” en caso de utilizar dependencias reversibles en encadenamiento hacia adelante?

Solución por Tomás García Saiz:

Ejercicio 1-A

Paso	Busco	Regla	Afirmaciones Necesarias	Base Afirmaciones
0				$\{A, B, C\}$
1	F	R4	$\{\text{B}, D\}$	
2	D	R3	$\{\text{A}, \text{B}, E\}$	
3	E	R7	$\{E\}$	

Para obtener “F” solo podemos utilizar la Regla “R4”. Para poder utilizarla necesitaríamos que en la base de conocimiento tuviéramos $\{B, D\}$. Como en la base de conocimiento inicial tenemos “B”, solo necesitamos “D”.

Para obtener “D” solo podemos utilizar la Regla “R3”. Para poder utilizarla necesitaríamos que en la base de conocimiento tuviéramos $\{A, B, E\}$. Como en la base de conocimiento inicial tenemos “A, B”, solo necesitamos “E”.

Para obtener “E” solo podemos utilizar la Regla “R7”. Para poder utilizarla necesitaríamos que en la base de conocimiento tuviéramos $\{C\}$. Como en la base de conocimiento inicial tenemos “C” no necesitamos realizar ningún otro cálculo.

Para obtener “F” deberemos de aplicar las Reglas “R7”, “R3” y “R4”. En este preciso orden.

Ejercicio 1-B.

Paso	Conjunto conflicto	Regla Aplicada	Base de Afirmaciones
0			{M, B}
1	R2, R8	R2 (Menor índice)	{M, B, N}
2	R2, R8, R10	R10 (Especificidad)	{ M , B, N, S}
3	R9	R9	{B, N, S, T}

Ejercicio 1-C.

Refractariedad: “Después de haber respondido a un estímulo, existe un tiempo en el que el sistema es incapaz de volver a responder. En los sistemas basados en reglas esto implica la existencia de mecanismos de control para impedir que una regla se ejecute repetidamente sin que se haya introducido nueva información”.

Las Reglas R3, R4, R6 y R10 no se verán afectadas por la refractariedad, ya que ellas mismas eliminan de la base de afirmaciones algún elemento de su antecedente.

La regla R5 si se vería afectada.

Ejercicio 1-D.

Dependencias reversibles: “Si en un momento dado se cumple la premisa, el consecuente pasará a la Base de Afirmaciones, y si se retracta la primera afirmación deberá retractarse también la segunda”.

Las Reglas R3, R4, R6 y R10 son inaplicables, ya que ellas mismas eliminan de la base de afirmaciones algún elemento de su antecedente y, por lo tanto, según las ejecutamos deberíamos de deshacer la acción.

La aplicación de la regla R5 provocaría que si en algún momento hubiéramos aplicado las reglas R1, R3 ó R6 deberíamos de deshacer sus efectos. Como las reglas R3 y R6 pertenecen al conjunto definido en el párrafo anterior y por lo tanto nunca se aplicarían, solo afectaría a la regla R1.

Semana 2. Ejercicio 2. (Valoración: 3.5 puntos)

Considere un sistema basado en reglas con encadenamiento hacia delante, junto con el proceso de control del razonamiento en el mismo. ¿Cómo explicaría el funcionamiento global del sistema citado como un proceso de búsqueda en un espacio de estados? ¿Qué algoritmo de búsqueda es el que mejor representaría dicho funcionamiento?

Solución por Tomás García Saiz:

Ejercicio 2-A.

Para definir un espacio de búsqueda necesitamos especificar los estados y los operadores que transforman un estado en otro.

Al representar en forma de un espacio de búsqueda un sistema basado en reglas con encadenamiento hacia adelante, debemos de considerar que los estados corresponderán con la base de afirmaciones y que los operadores corresponderán con las reglas que podamos aplicar sobre la base de afirmaciones.

El estado inicial corresponderá con la base de afirmaciones inicial; por lo tanto, sería propia de cada ejercicio.

Ejercicio 2-B.

El método que mejor representa la tarea del control del razonamiento sería el **Método del Gradiente**. La función heurística que nos guiaría en la elección del siguiente estado tiene que decidir que el mejor hijo posible es el que calcularíamos tras ejecutar la regla que venciera entre las del conjunto conflicto.

Este es el único método que sigue una estrategia irrevocable, que sería la forma de evolucionar de nuestro sistema basado en reglas en encadenamiento hacia adelante.

Semana 2. Ejercicio 3. (Valoración: 3.5 puntos)

Realice un estudio comparativo de los siguientes métodos de representación de conocimiento: *Factores de certeza de MYCIN* y *Lógica Difusa*. Haga especial énfasis en los siguientes aspectos:

- Tipos de conocimiento que permiten modelar
- Tipos de inferencia que permiten realizar
- Dominios del mundo real en que se aplicaría dichos métodos

Solución por Tomás García Saiz:

	Factores de Certeza	Lógica Difusa
Representación de Conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> “Podemos definir el Factor de Certeza, $FC(h,e)$, que indica la fiabilidad con que podemos aceptar la hipótesis h en caso de tener la evidencia e”. Los factores de certeza toman valores en el intervalo $[-1, 1]$. 	<ul style="list-style-type: none"> Nos permite tratar la imprecisión y subjetividad de los enunciados tratados. “La lógica difusa trata esta imprecisión definiendo conjuntos o relaciones borrosas, mediante la indicación del grado de pertenencia de sus miembros. Los grados de pertenencia toman valores en el intervalo $[0,1]$.
Inferencia	<ul style="list-style-type: none"> “Cuando en una regla hay varias premisas, se utiliza una combinación de máximos y mínimos, dependiendo respectivamente de si se trata de disyunciones o conjunciones con el fin de obtener el factor de certeza $FC(h,e_1,\dots,e_n)$.” “Si hay varias reglas que aportan evidencias a favor o en contra de una hipótesis, hace falta una formula que indique cómo combinar los factores de certeza correspondientes.” Formula de van Melle. 	<ul style="list-style-type: none"> Al igual que en las lógicas clásicas existen una serie de reglas de inferencia que permiten obtener el valor de verdad de una determinada conclusión a partir de unas premisas en el cálculo difuso; por ejemplo <ul style="list-style-type: none"> Principio de Herencia. Regla de composición. Modus Ponens generalizado. Modus Tollens generalizado. Silogismo Hipotético. Los modificadores lingüísticos (“casi”, “muy”, ...) se modelan a partir de determinadas operaciones sobre la función de pertenencia asociado al predicado que se está modificando. Las sentencias compuestas como la disyunción, conjunción o condicional se interpretan a partir de operaciones matemáticas sobre los grados de pertenencia: máximo, mínimo o diferentes posibles formulas para el condicional, respectivamente.
Dominio	<ul style="list-style-type: none"> “Las primeras reglas contenidas en el sistema experto MYCIN contenido sobre enfermedades, microorganismos, fármacos, ...” 	<ul style="list-style-type: none"> Siempre que haya incertidumbre o subjetividad en cualquier expresión del lenguaje Natura.