

# SOLUCIONES A LOS PROBLEMAS DE LA 1ª SEMANA DE JUNIO 2006

En los sistemas basados en Reglas, describa cómo se realiza el control de razonamiento y el tratamiento de la incertidumbre. Con respecto a estos dos aspectos, describa las diferencias que existen con las Redes Bayesianas. Ilustre su explicación con ejemplos prácticos.

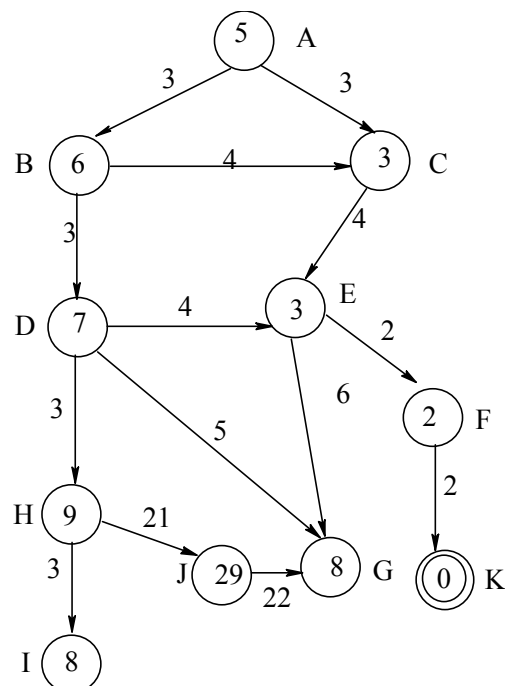
## ESQUEMA DE SOLUCIÓN:

Apartados 6.4 y 6.6 del libro base de la asignatura. Para la comparación con Redes Bayesianas, comparar los contenidos de estos apartados con lo descrito en el apartado 7.4.2 (El uso de una sólida teoría probabilista les permite a las redes bayesianas dar una interpretación objetiva de los factores numéricos que intervienen y dicta de forma unívoca la forma de realizar la inferencia. Comparación entre los factores de certeza de MYCIN y lógica difusa con el uso de probabilidades en redes bayesianas).

Dado el siguiente grafo, donde A es el nodo inicial y K es el nodo meta, explorarlo mediante los siguientes métodos:

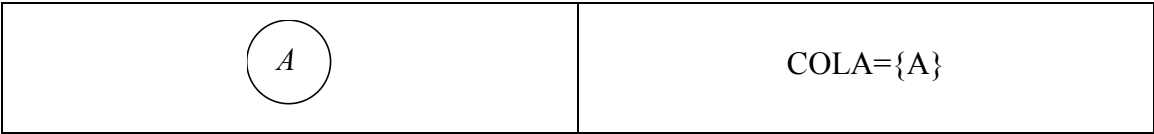
- Búsqueda en amplitud
- Búsqueda en profundidad
- A\*

En cada uno de los apartados describa brevemente el método de búsqueda e indique detalladamente cada uno de los pasos seguidos dibujando en cada etapa del algoritmo el subgrafo parcial creado

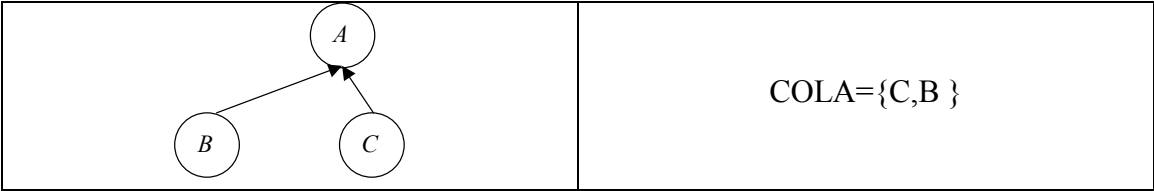


a) **Búsqueda en amplitud** (de derecha a izquierda)

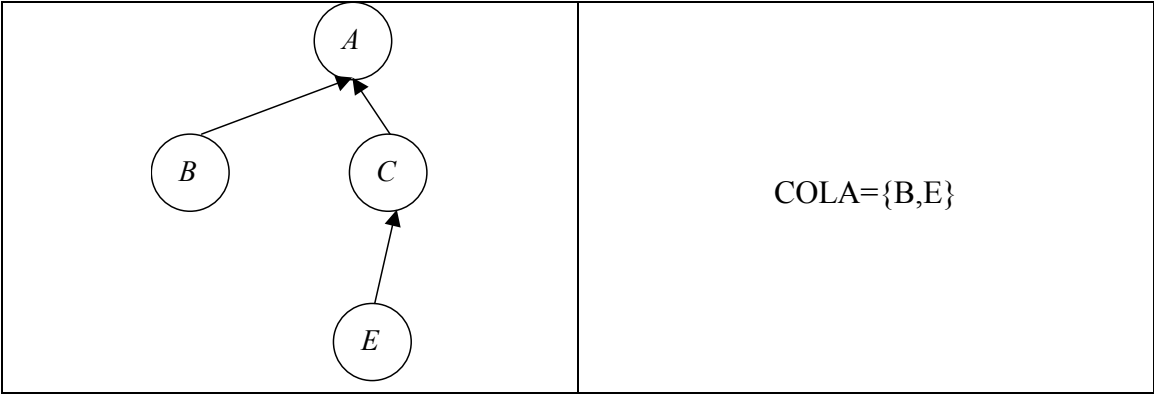
**PASO 1:** Situación inicial



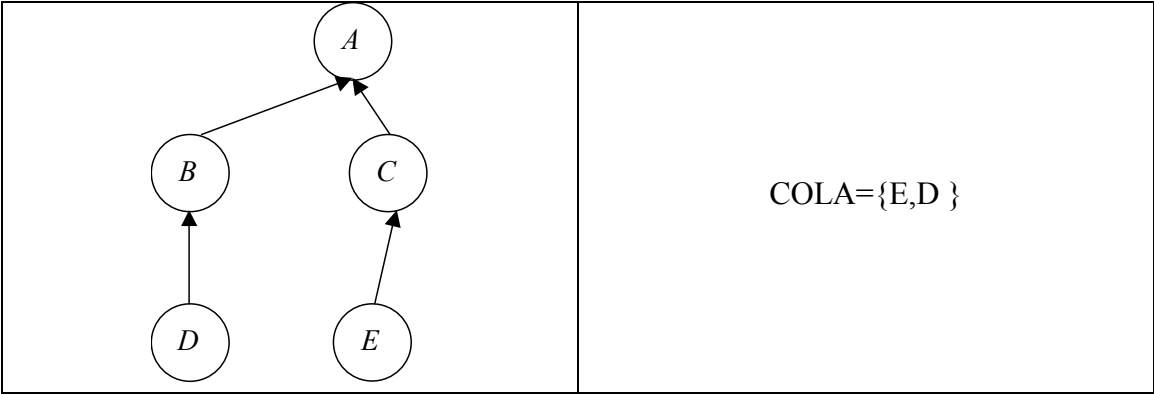
**PASO 2:** Se expande A

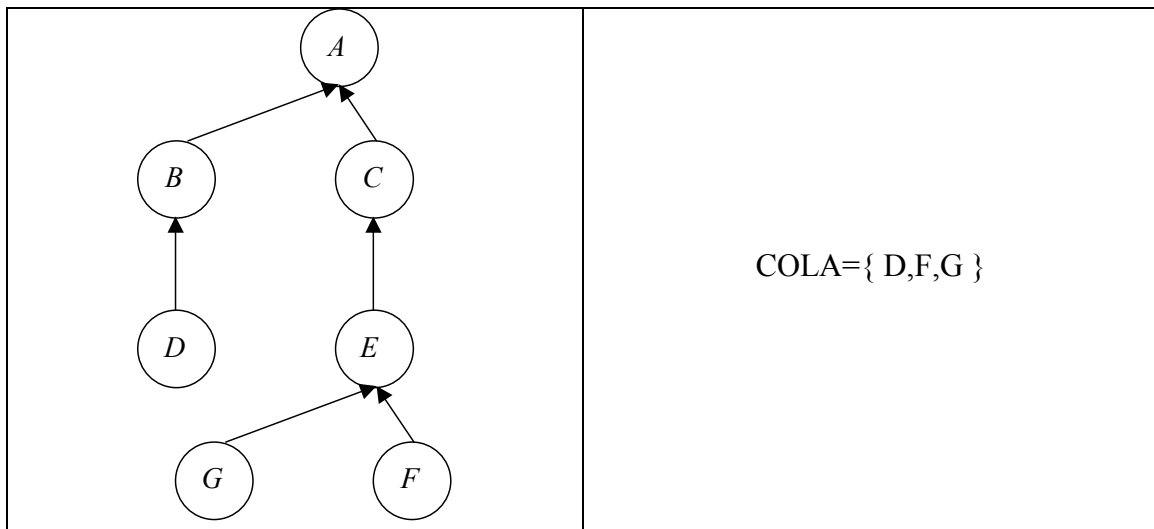
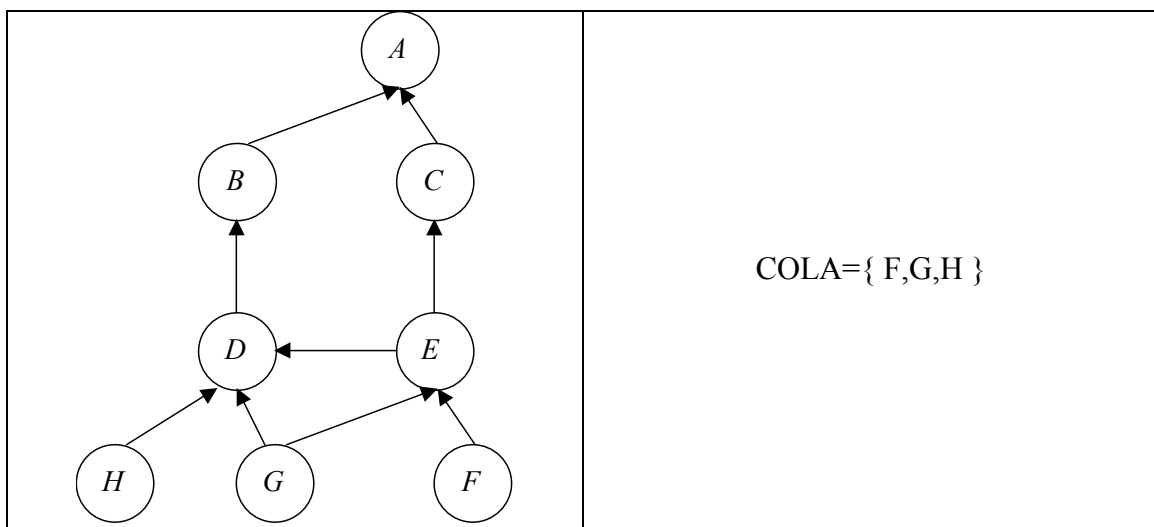


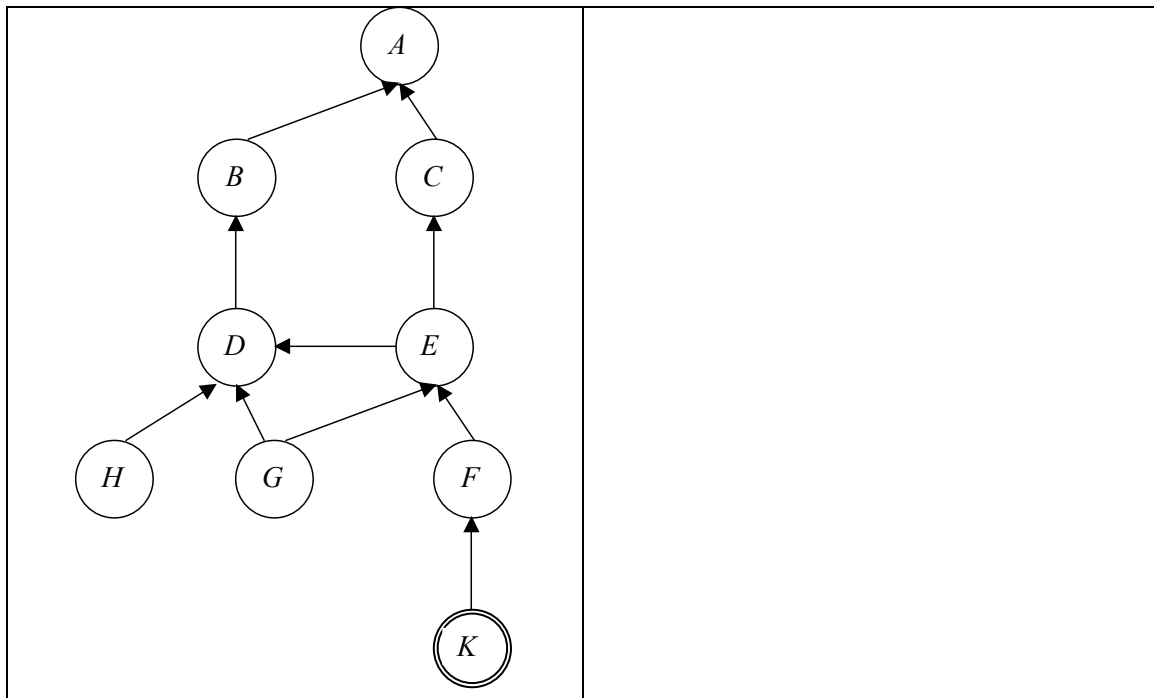
**PASO 3:** Se expande C



**PASO 4:** Se expande B



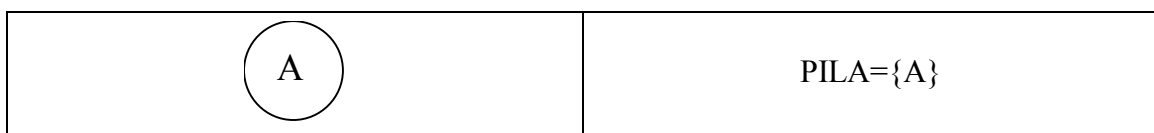
**PASO 5: Se expande E****PASO 6: Se expande D****PASO 7: Se expande F**



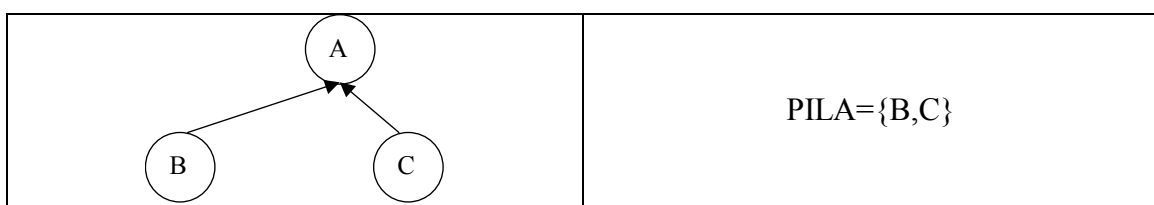
Camino solución:  $A \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow K$

**b) Búsqueda en profundidad** (de derecha a izquierda)

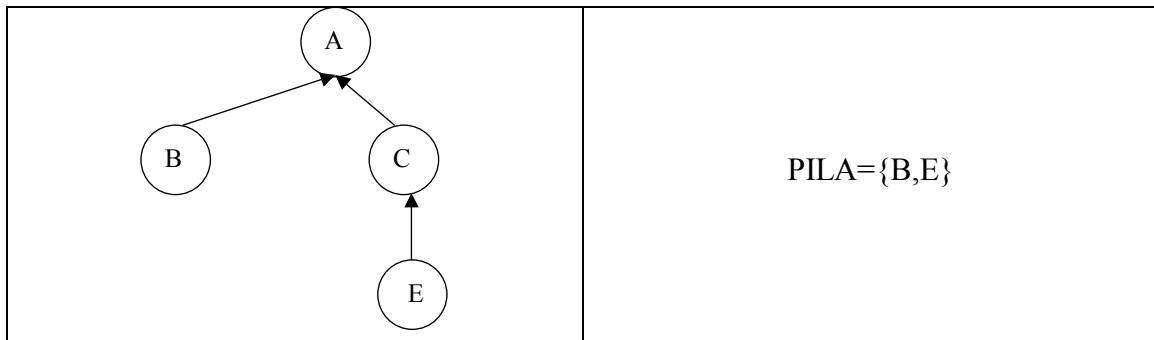
**PASO 1: Situación inicial**



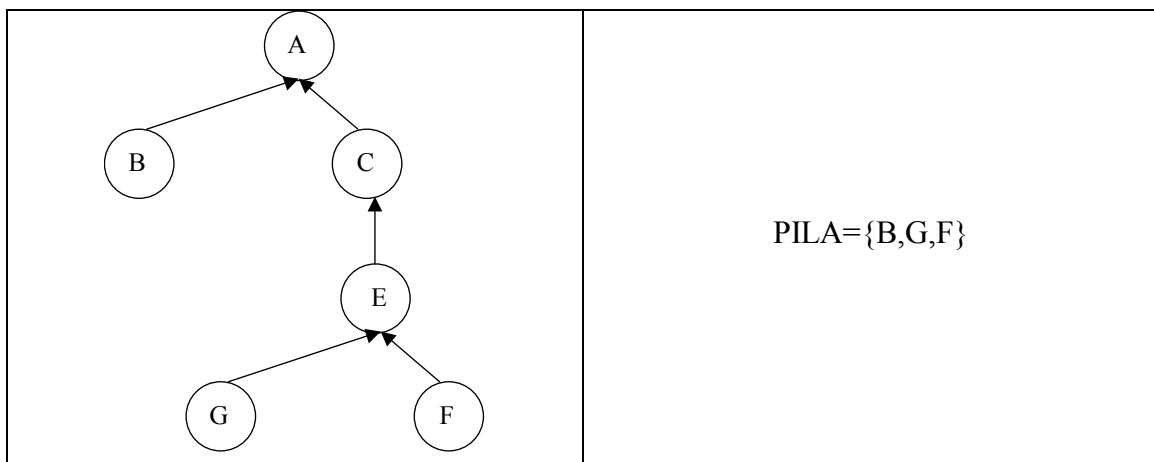
**PASO 2: Se expande A**



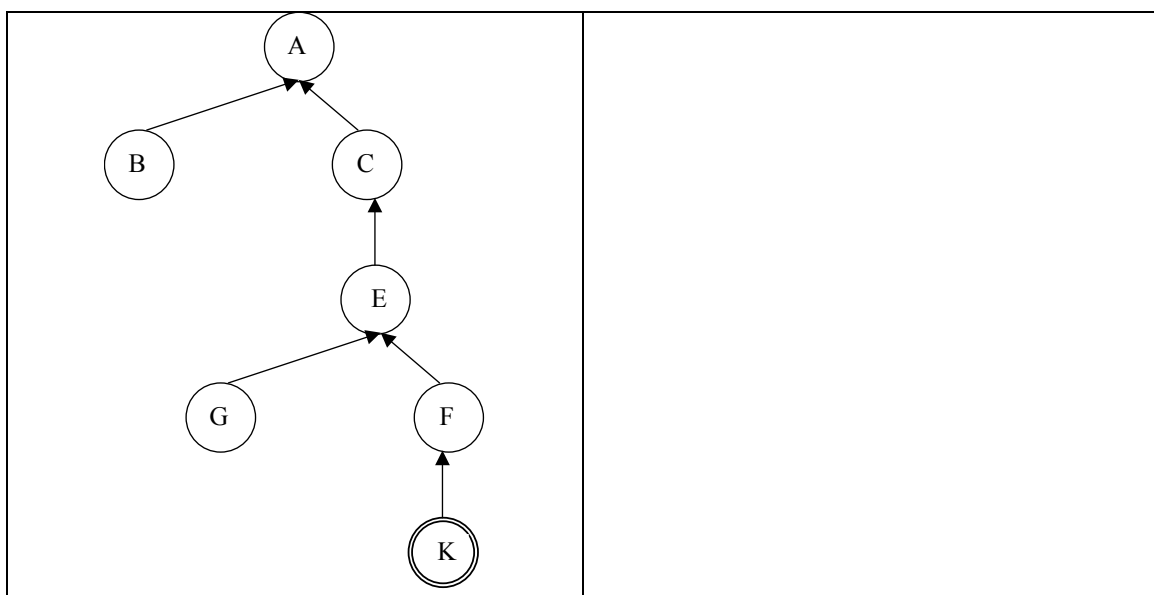
**PASO 3: Se expande C**



**PASO 4:** Se expande E




**PASO 5:** Se expande F



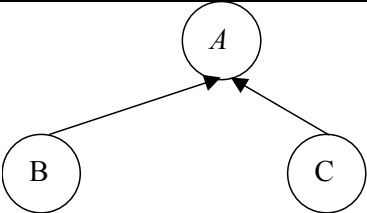
Camino Solución:  $A \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow K$

c) Algoritmo A\*

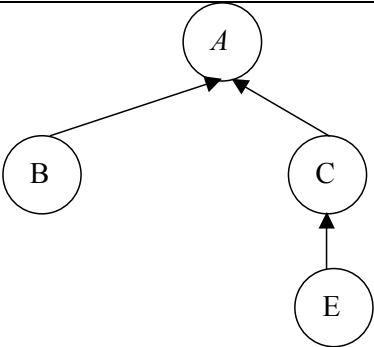
PASO 1: Situación inicial

	ABIERTA={A(40)} CERRADA={}
---	-------------------------------

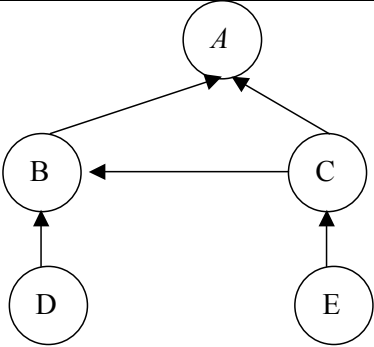
PASO 2: Se expande A

	ABIERTA={B(9), C(6) } CERRADA={A}
---	--------------------------------------

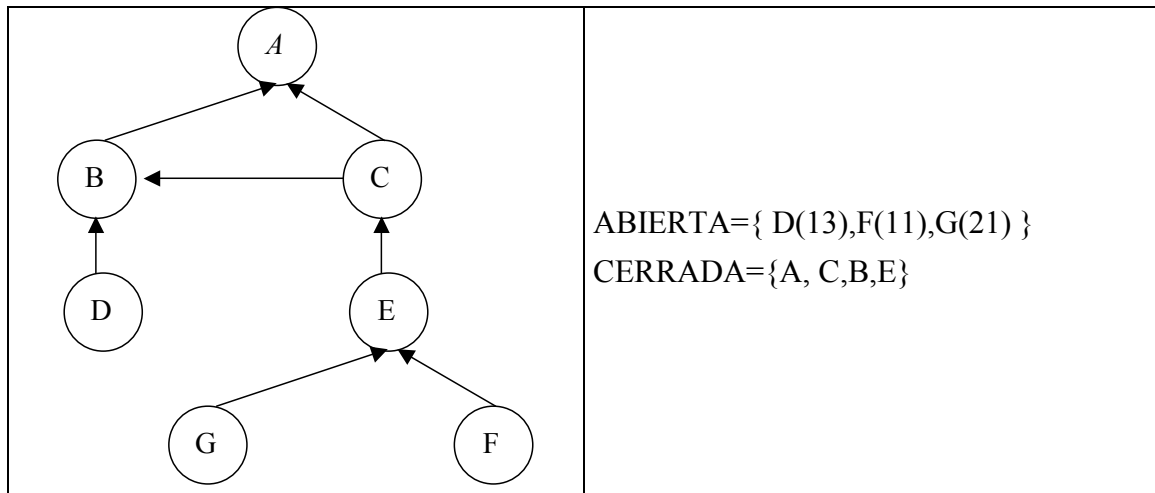
PASO 3: Se expande C

	ABIERTA={B(9),E(10) } CERRADA={A, C}
---	---

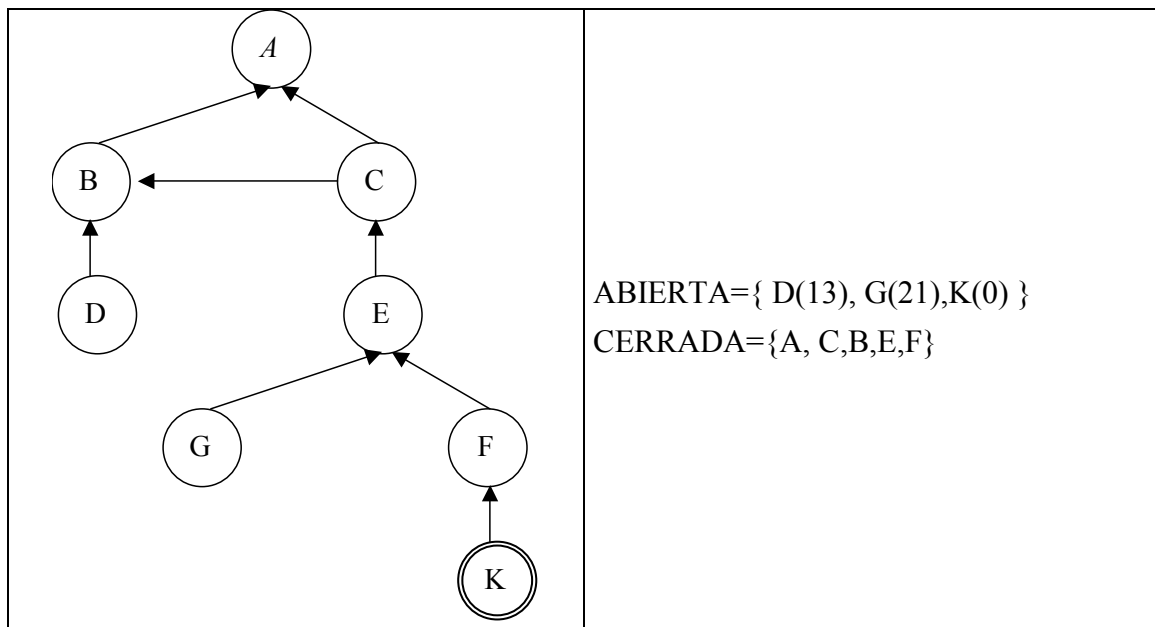
PASO 4: Se expande B

	ABIERTA={E(10),D(13) } CERRADA={A, C,B}
---	--

PASO 5: Se expande E



**PASO 6: Se expande F**



**PASO 7: Se expande K**

El proceso finaliza cuando se expande el nodo K que es un nodo meta.

Camino Solución:  $A \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow K$

**Analizar las principales diferencias entre los grafos de dependencia conceptual y las redes de Shapiro. Representar mediante Redes de Shapiro y Grafos de Sowa las siguientes frases:**

***“Lucía piensa que la película es muy buena”***

***“Ana quiere que su cumpleaños llegue pronto”***

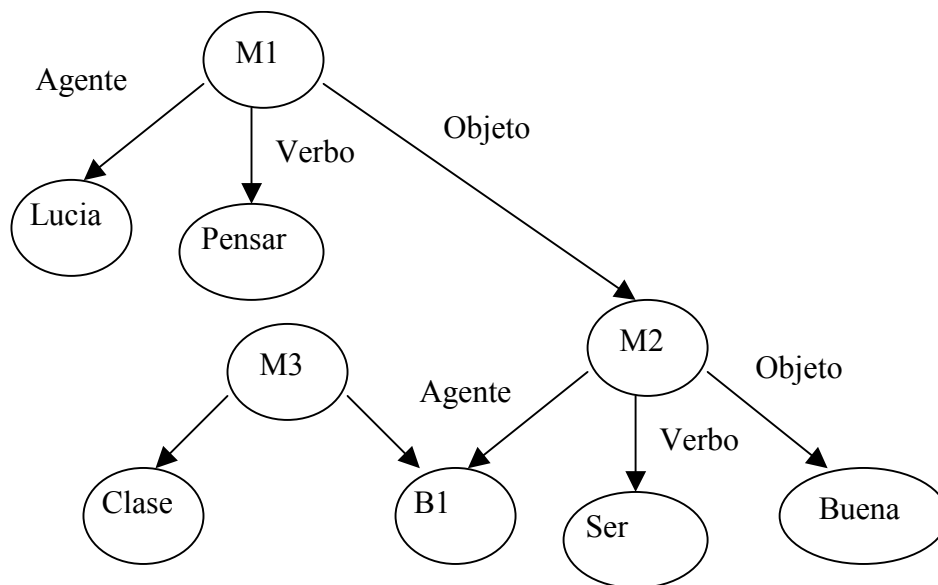
**ESQUEMA DE SOLUCIÓN:**

Problema 5.8 del libro de problemas o los apartados correspondientes del libro de teoría

A continuación mostramos las representaciones mediante Redes de Shapiro y Grafos de Sowa de las frases propuestas. Veremos que en cuanto a dichas representaciones ambas frases son muy similares

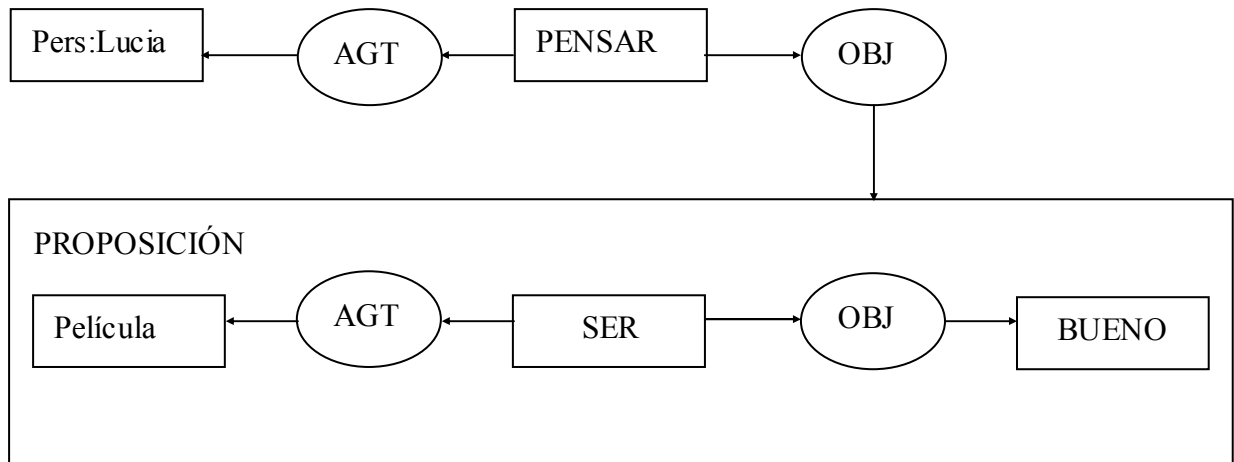
a) ***“Lucía piensa que la película es muy buena”***

- Mediante redes de Shapiro



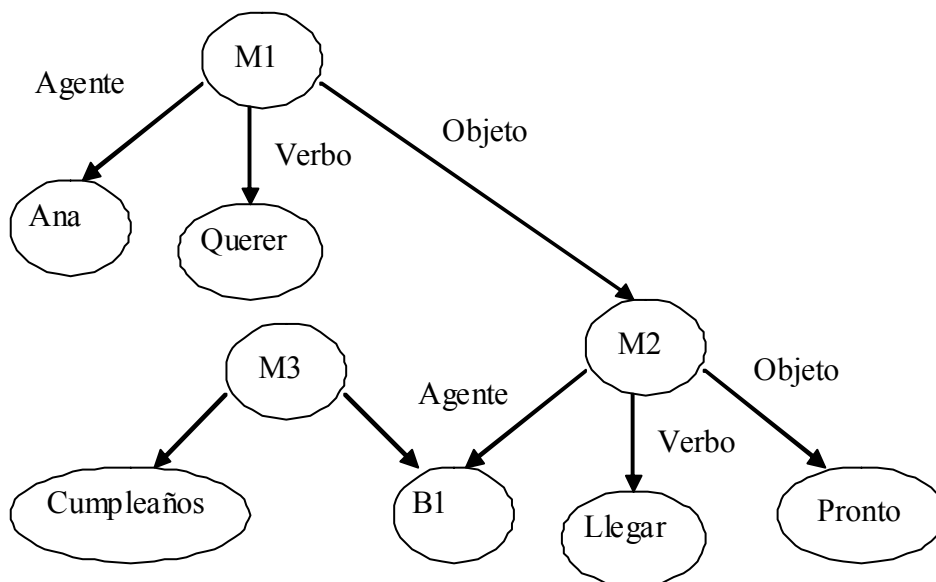
- Mediante grafos de Sowa



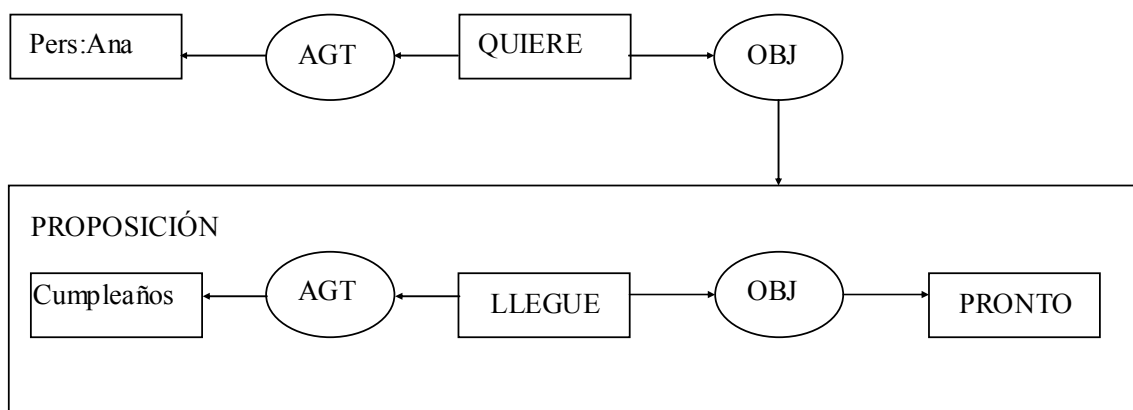


b) *“Ana quiere que su cumpleaños llegue pronto”*

- Mediante Redes de Shapiro



- Mediante Grafos de Sowa



## INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

I. T. en Informática de Sistemas, Plan Antiguo  
I. T. en Informática de Sistemas, Plan Nuevo

Código carrera: 40  
Código carrera: 53

Código asignatura: 2090  
Código asignatura: 2097

**JUNIO 2005-2006 (2ª semana) DURACIÓN: 2 horas MATERIAL PERMITIDO: ninguno**

**Importante:** Ponga el nombre en todas las hojas. No sólo se valorará que el resultado sea correcto, sino también la claridad en la exposición de los pasos seguidos en la resolución, que el examen esté compensado y que no incluya errores conceptuales importantes.

### **Ejercicio 1. (Valoración: 10 / 3)**

Diseñe un guión correspondiente a la celebración de un partido de fútbol. ¿Cómo y para qué se realiza inferencia mediante un guión?

SOLUCIÓN:

El guión \$PARTIDO-DE-FÚTBOL constará de los siguientes roles o personajes:

*A*: árbitro  
*JL*: jueces de línea  
*E*: espectadores  
*JLT*: jugadores locales titulares  
*JVT*: jugadores visitantes titulares  
*JLS*: jugadores locales suplentes  
*JVS*: jugadores visitantes suplentes  
*EL*: entrenador local  
*EV*: entrenador visitante

Los términos que aparecen a la izquierda representan variables que serán instanciadas a valores concretos para un partido determinado.

Como objetos y lugares típicos del guión \$PARTIDO-DE-FÚTBOL se pueden considerar:

gradas  
campo de juego o césped  
vestuarios  
balón  
banquillos  
porterías  
silbato del árbitro  
marcador

Algunos ejemplos de condiciones previas, expresadas mediante oraciones o palabras, que pueden dar origen a la activación de este guión en inferencia son:

Hoy se disputa una nueva jornada de liga  
La eliminatoria se presenta igualada  
Los dos equipos se juegan el ser o no ser  
La final de copa está servida  
Un nuevo derbi por todo lo alto se celebra hoy  
Final muy igualada  
Emoción y tensión en este partido

Posibles resultados que aparecen al finalizar la última escena son:

*JLT*, *JLS* y *EL* han perdido.  
Un componente de *JVT* se ha lesionado.

El marcador es 4-1.  
 Las gradas han quedado vacías.  
 El césped ha quedado maltrecho.

Por último, el guión \$PARTIDO-DE-FÚTBOL constaría de las siguientes escenas (por mantener la explicación breve hemos omitido las acciones típicas cuando se produce un lance del juego: gol, saque de esquina o pena máxima, entre otras):

*Escena 1: Salida de los jugadores al césped*

Las gradas están ocupadas por los espectadores.  
 Los banquillos son ocupados por *JLS*, *EL*, *JVS* y *EV*.  
*JLT* y *JVT* saltan al césped.  
*JL* ocupan sus puestos.  
 El marcador se pone 0-0.

*Escena 2: El árbitro da inicio al partido*

*A* hace sonar el silbato una vez.  
 Un componente de *JLT* o *JVT* pone en movimiento el balón.

*Escena 3: Los jugadores se van a los vestuarios tras los primeros 45 minutos*

*A* hace sonar el silbato tres veces.  
*JLS*, *JLT*, *EL*, *JVS*, *JVT*, *EV*, *A* y *JL* se retiran.

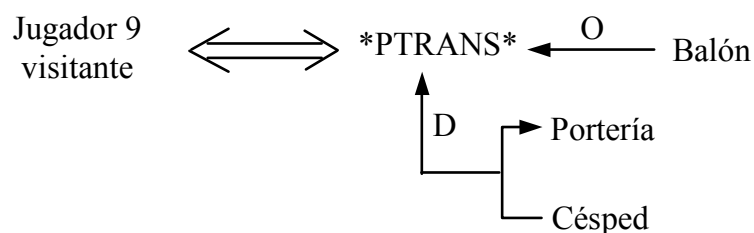
*Escena 4: Se inicia el segundo tiempo*

(Se repite la escena 1, excepto en lo referente al marcador.)

*Escena 5: El partido finaliza*

(Se repite la escena 3.)  
*E* abandonan las gradas.

Se utilizan grafos de dependencia conceptual de Schank para representar cada acción de una escena. Por ejemplo, la acción de un gol se representaría del siguiente modo:



La inferencia mediante guiones consiste en seleccionar un guión a partir de las condiciones de su cabecera, asignar valores a las variables del guión y, finalmente, inferir toda la información presente en las escenas y resultados finales del guión. Los guiones se suelen utilizar en la comprensión del lenguaje natural, más concretamente en la interpretación de textos.

**Ejercicio 2. (Valoración: 10 / 3)**

Enumere y clasifique los métodos de búsqueda en un espacio de estados, indicando brevemente las características de cada método.

**SOLUCIÓN:**

Los métodos de búsqueda en un espacio de estados se pueden dividir en dos grandes grupos: *métodos de búsqueda sin información del dominio* y *métodos de búsqueda heurística*. Los primeros no utilizan conocimiento o información heurística para guiar el proceso de búsqueda, mientras que los segundos sí.

Los esquemas básicos de búsqueda sin información del dominio, en la que se suele suponer que el espacio de estados tiene forma de árbol, son la *búsqueda en amplitud* y la *búsqueda en profundidad*. En el primer tipo se utiliza una cola para explorar primero todos los nodos del mismo nivel, mientras que en el segundo tipo se utiliza una pila para pasar a explorar un nodo del nivel siguiente. Estos dos métodos tienen una complejidad temporal exponencial con la profundidad de la solución. Sin embargo, en el método de búsqueda en profundidad la complejidad espacial se reduce, ya que en cada momento sólo es necesario almacenar el camino desde el nodo actual hasta el inicial.

Hay varias formas de combinar la búsqueda en profundidad con la búsqueda en amplitud. Si se conoce el estado meta y los operadores son reversibles, se puede realizar una *búsqueda bidireccional* donde al menos una de las dos búsquedas sea en amplitud para garantizar que se intersecten en algún estado. De esta manera, el exponente de la complejidad temporal o exponencial de la búsqueda en amplitud habitual se reduce a la mitad. Por otra parte, la *búsqueda en profundidad progresiva* consiste en repetir una búsqueda en profundidad aumentando progresivamente el nivel de profundidad. En este método, la complejidad espacial coincide con la del método de búsqueda en profundidad.

Si se tiene en cuenta que el espacio de estados es en general un grafo, se puede utilizar una *búsqueda general en grafos*. En este método se hace uso de dos listas, ABIERTA y CERRADA, que almacenan respectivamente los nodos que han sido generados y los que han sido expandidos en el proceso de búsqueda. Como ahora existirán en general varios caminos desde cada nodo hasta el nodo inicial, se crea un “árbol de costes mínimos parciales” tal que cada arco del mismo indica el mejor camino encontrado desde cada nodo hasta el nodo inicial. Según avance el proceso de búsqueda puede haber redirecciones en los arcos del árbol de costes mínimos parciales.

Las *estrategias de exploración de alternativas*, ya dentro de los métodos de búsqueda heurística, quedan englobadas dentro del marco de búsqueda general en grafos. Utilizan una función de evaluación heurística para ordenar los nodos de ABIERTA. Generalmente el nodo más prometedor de ABIERTA es expandido. La estrategia *Primero el Mejor* utiliza la función de evaluación heurística:

$$f_{ev}(\text{estado}) = h(\text{estado})$$

donde  $h$  estima lo cercano que *estado* se encuentra de un estado meta. El método  $A^*$  utiliza:

$$f_{ev}(\text{estado}) = g(\text{estado}) + h(\text{estado})$$

donde  $g$  se calcula a partir del árbol parcial de costes mínimos, siendo  $f_{ev}$  una estimación del coste del mejor camino que parte del nodo inicial, pasa por el nodo actual y llega a un nodo meta. El método de *búsqueda en haz* elimina los peores elementos de ABIERTA en cada ciclo.

Cuando la búsqueda se realiza en un grafo YO, se puede generalizar el método A\* para obtener el AO\* (o YO\*). Ahora la solución no es un camino, sino un subgrafo. El método YO\* consta de tres fases: una descendente en la que se siguen los arcos de los mejores subgrafos que cuelgan de cada nodo, una de expansión de uno cualquiera de los nodos hoja a los que se llega tras la fase anterior y, finalmente, una fase ascendente de actualización de costes y subgrafos parciales óptimos que cuelgan de los predecesores de los nodos actualizados.

Las *estrategias irrevocables*, como el *método del gradiente*, nunca dan marcha atrás en la búsqueda. Esto permite que la complejidad espacial se reduzca. El siguiente nodo a explorar es aquél cuyo valor de  $f_{ev}$  es máximo (suponiendo que asociamos valores de  $f_{ev}$  mayores a los nodos más prometedores), siempre que mejore la  $f_{ev}$  del nodo actual.

Existen métodos de búsqueda para juegos entre adversarios. El más simple es el *método MINIMAX*, que realiza una búsqueda exhaustiva en profundidad del árbol que cuelga de la situación actual de la partida. Los árboles expandidos tienen una profundidad que fija el programador y a cada uno de los nodos hoja se les asigna su valor de la  $f_{ev}$ . El *método de poda alfa-beta* es similar al método MINIMAX, aunque identifica los subárboles cuya exploración no influye en el resultado final de la búsqueda.

### Ejercicio 3. (Valoración: 10 / 3)

Dé una definición de red bayesiana y describa mediante una red ejemplo de al menos 6 nodos cómo se completan la parte estructural y la parte paramétrica de una red bayesiana. Dada la red bayesiana formada por los arcos:  $A \rightarrow B$ ,  $A \rightarrow C$ ,  $B \rightarrow D$ ,  $B \rightarrow E$  y  $C \rightarrow E$ , ¿cómo calcularía la probabilidad  $P(A | e)$ , es decir, la probabilidad de la variable  $A$  dado  $E = e$ ?

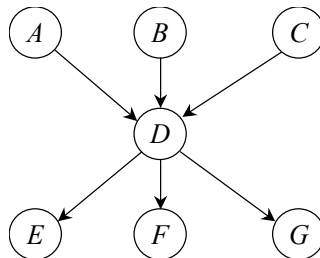
#### SOLUCIÓN:

a) Una red bayesiana es un *grafo dirigido acíclico* más una distribución de probabilidad sobre sus variables que cumple la *propiedad de separación direccional*: la probabilidad de una variable, una vez conocidos los valores de sus padres, es independiente de los nodos que no son sus descendientes. La propiedad de separación direccional es equivalente a definir la probabilidad conjunta de las variables de la red del siguiente modo:

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(x_i | pa(x_i))$$

donde  $pa(x_i)$  representa una configuración de valores para las padres de la variable  $X_i$ .

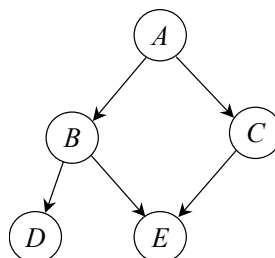
b) Para completar la parte estructural de una red bayesiana, en primer lugar habría que definir las variables aleatorias que entran en juego. Supongamos que tenemos seis variables  $\{A, B, C, D, E, F\}$ , cada una de ellas definida en el rango  $\{presente, ausente\}$ . A continuación hay que trazar los arcos correspondientes entre las variables, de manera que no se creen ciclos. Un ejemplo de grafo dirigido acíclico válido es el siguiente:



Cada arco representa una relación de influencia directa entre dos variables, bien de tipo causal o bien simplemente de dependencia probabilística.

En cuanto a la parte paramétrica de la red, hay que dar las probabilidades condicionales de cada variable dados sus padres y las probabilidades a priori de las variables sin padre; en nuestro ejemplo:  $P(A)$  (2 parámetros),  $P(B)$  (2 parámetros),  $P(C)$  (2 parámetros),  $P(D | A, B, C)$  (16 parámetros),  $P(E | D)$  (4 parámetros),  $P(F | D)$  (4 parámetros) y  $P(G | D)$  (4 parámetros).

c) Dada la red



$$P(A \mid e) = \frac{P(A, e)}{P(e)} = \alpha \cdot P(A, e)$$

donde  $\alpha$  es una constante de normalización (no depende de  $A$ ). A su vez:

$$P(A, e) = \sum_{B, C, D} P(A, B, C, D, e) = \sum_{B, C, D} P(A) \cdot P(B \mid A) \cdot P(C \mid A) \cdot P(D \mid B) \cdot P(e \mid B, C)$$

A continuación se procede a eliminar del sumatorio la variable  $D$ :

$$\sum_{B, C} P(A) \cdot P(B \mid A) \cdot P(C \mid A) \cdot P(e \mid B, C) \cdot \sum_D P(D \mid B),$$

que es equivalente a:

$$\sum_{B, C} P(A) \cdot P(B \mid A) \cdot P(C \mid A) \cdot P(e \mid B, C)$$

Esta última expresión se puede simplificar hasta obtener:

$$P(A) \cdot \sum_B P(B \mid A) \cdot \sum_C P(C \mid A) \cdot P(e \mid B, C)$$

o, de forma equivalente:

$$P(A) \cdot \sum_C P(C \mid A) \cdot \sum_B P(B \mid A) \cdot P(e \mid B, C)$$