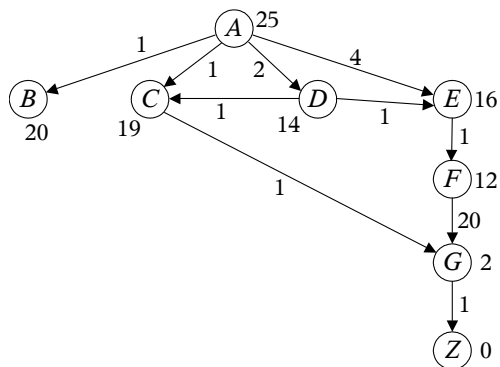


**Universidad Nacional de Educación a Distancia**  
**Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas**  
**Introducción a Inteligencia Artificial (2º Curso)**  
**Solución exámenes junio 2008**

### Ejercicio 1. Primera Semana.

Considere el grafo de la figura, donde  $A$  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. Aplicar paso a paso el algoritmo A\* al grafo dado.



### SOLUCIÓN

**Ciclo 1:** Inicialmente:

ABIERTA:  $\underline{A(0+25)}$

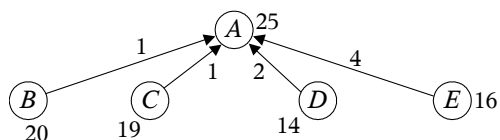
CERRADA:  $\emptyset$



**Ciclo 2:** La única posibilidad es expandir  $A$ :

ABIERTA:  $B(1+20)$ ,  $C(1+19)$ ,  $\underline{D(2+14)}$ ,  $E(4+16)$

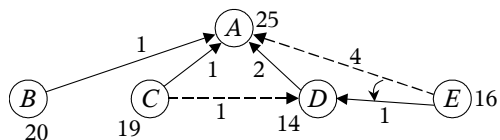
CERRADA:  $A$



**Ciclo 3:** El nodo más prometedor de ABIERTA es  $D$ , que es seleccionado para su expansión.

ABIERTA:  $B(1+20)$ ,  $C(1+19)$ ,  $\underline{E(2+1+16)}$

CERRADA:  $A, D$

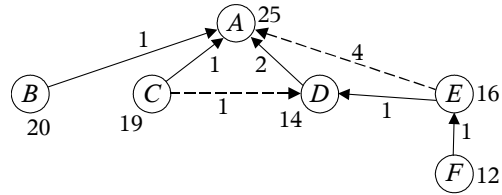


Debido a la expansión de  $D$ , se ha abierto un nuevo camino desde  $C$  hasta  $A$ , aunque no es mejor que el ya existente anteriormente. También se ha abierto un nuevo camino entre  $E$  y  $A$ , que sí es mejor que el anterior.

**Ciclo 4:** El nodo más prometedor de ABIERTA es  $E$ , que es seleccionado para su expansión.

ABIERTA:  $B(1+20)$ ,  $C(1+19)$ ,  $F(2+1+1+12)$

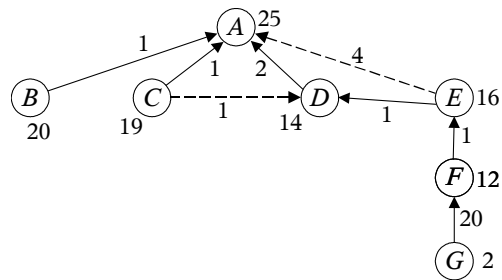
CERRADA:  $A$ ,  $D$ ,  $E$



**Ciclo 5:** El nodo más prometedor de ABIERTA es  $F$ , que es seleccionado para su expansión.

ABIERTA:  $B(1+20)$ ,  $C(1+19)$ ,  $G(2+1+1+20+2)$

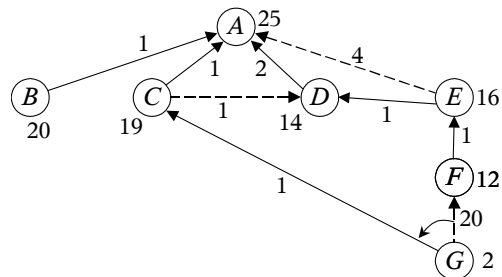
CERRADA:  $A$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$



**Ciclo 6:** El nodo más prometedor de ABIERTA es  $C$ , que es seleccionado para su expansión.

ABIERTA:  $B(1+20)$ ,  $G(1+1+2)$

CERRADA:  $A$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$ ,  $C$

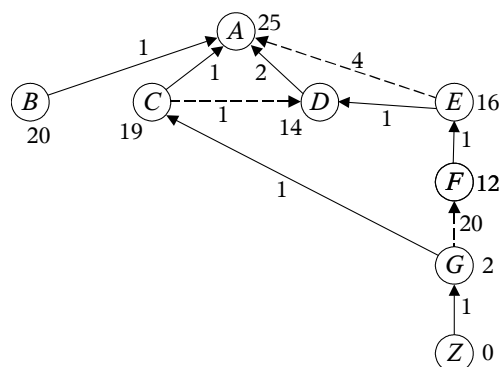


Debido a la expansión de  $C$ , se ha abierto un nuevo camino desde  $G$  hasta  $A$ , mejor que el ya existente anteriormente.

**Ciclo 7:** El nodo más prometedor de ABIERTA es  $G$ , que es seleccionado para su expansión.

ABIERTA:  $B(1+20)$ ,  $Z(1+1+1+0)$

CERRADA:  $A$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$ ,  $C$ ,  $G$



**Ciclo 8:** El nodo más prometedor de ABIERTA es Z, que es seleccionado para su expansión.

ABIERTA:  $B(1+20)$

CERRADA: A, D, E, F, C, G, Z

Al ser Z un nodo meta, finaliza el algoritmo. El camino encontrado es  $A \rightarrow C \rightarrow G \rightarrow Z$ .

## Ejercicio 2. Primera Semana.

Enumere los ejemplos de red asociativa que conozca. Para cada ejemplo describa brevemente los tipos de enlace que proporciona. Para cada tipo de enlace ponga un ejemplo asociado al mundo real que dé idea de cómo se utiliza dicho enlace para representar una determinada relación.

### SOLUCIÓN

Existen tres tipos de redes asociativas: las redes semánticas, las redes de clasificación y las redes causales.

#### 1. REDES SEMANTICAS.

##### 1. GRAFOS RELACIONES

1. Modelo de Memoria Semántica, de Quillian.
2. Sistema SCHOLAR, de Carbonell.
3. Grafos de Dependencia Conceptual, de Schank.

##### 2. REDES PROPOSICIONALES

1. Redes de Shapiro.
2. Grafos de Sowa.

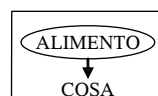
#### 2. REDES DE CLASIFICACIÓN

#### 3. REDES CAUSALES

1. El sistema Experto CASNET
2. Redes Bayesianas.

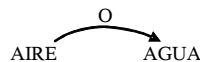
• El modelo de memoria semántica de Quillian es un ejemplo de red semántica que proporciona seis tipos de enlaces:

1) *Subclase*: une un nodo tipo con la clase a la que pertenece. Por ejemplo,

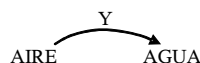


2) *Modificación*: une dos nodos réplica de modo que el segundo modifica el alcance del primero. Por ejemplo, ESTRUCTURA → VIVA.

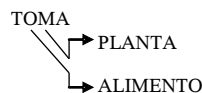
3) *Disyunción*: une dos o más nodos de forma disyuntiva. Por ejemplo,



4) *Conjunción*: une dos o más nodos de forma conjuntiva. Por ejemplo,



5) *Propiedad*: une un nodo relación, un nodo sujeto y un nodo objeto. Por ejemplo,



6) *Referencia al tipo*: une un nodo réplica a su correspondiente nodo tipo. Por ejemplo,



- El sistema SCHOLAR de Carbonell es un ejemplo de red semántica similar a los marcos, donde cada enlace une un elemento con la clase que lo representa, a modo similar de los enlaces referencia al tipo en el modelo de memoria semántica de Quillian. Por ejemplo,

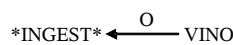


- Los grafos de dependencia conceptual de Schank son un ejemplo de red semántica con enlaces que dan origen a dieciséis reglas sintácticas, algunas de las cuales son:

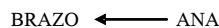
1) *Sujeto-verbo*:



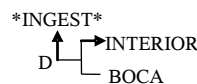
2) *Verbo-objeto*:



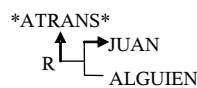
3) *Posesión o parte-de*:



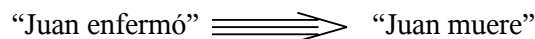
4) *Dirección*:



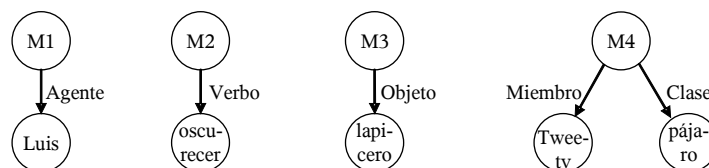
5) *Recepción*:



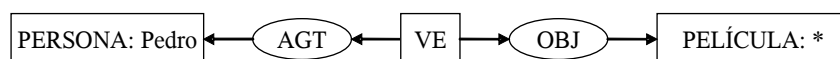
6) *Causalidad*:



- Las redes de Shapiro son un ejemplo de red semántica con varios tipos de enlaces gramaticales: *agente*, *verbo*, *objeto*, *miembro* o *clase*, entre otros. A modo de ejemplo,



- Los grafos de Sowa son un ejemplo de red semántica semejante a las redes de Shapiro, pero cuyos enlaces son algo diferentes. Considérense los siguientes ejemplos:



- Las redes de clasificación contienen dos tipos de enlaces: los que unen una subclase con la clase en la que está incluida (por ejemplo, COCHE → VEHÍCULO) y los que unen un elemento con la clase a la que pertenece (por ejemplo, FORD FOCUS 0000 BBB → COCHE).

- El sistema experto CASNET es un ejemplo de red causal con los siguientes tipos de enlaces:

- 1) Relaciones de inclusión dentro del plano de enfermedades, por ejemplo, GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO → GLAUCOMA
- 2) Relaciones de causalidad dentro del plano de estados patofisiológicos, por ejemplo, ELEVACIÓN DE LA PRESIÓN INTRAOCULAR → EDEMA CORNEAL. Cada enlace lleva asociado un factor  $a_{ij}$  que indica “grado de conexión causal”.
- 3) Enlaces entre el plano de enfermedades y el de estados fisiopatológicos, por ejemplo, GLAUCOMA DE ÁNGULO CERRADO → REDUCCIÓN DEL CAMPO VISUAL.
- 4) Enlaces entre el plano de estados fisiopatológicos y el de observaciones, por ejemplo, EDEMA CORNEAL → AGUDEZA VISUAL.

- Las redes bayesianas son un ejemplo de red causal donde cada enlace determina una relación de causalidad o simplemente de dependencia probabilista, por ejemplo, FUMADOR → CÁNCER DE PULMÓN. Asociada a los arcos que unen un nodo con sus padres existe una tabla de probabilidades condicionales. Por ejemplo, en el enlace anterior,  $P(\text{CÁNCER DE PULMÓN} \mid \text{FUMADOR})$  expresaría la probabilidad de tener cáncer de pulmón dado que se es fumador.

### Ejercicio 3. Primera Semana.

Realice un estudio comparativo de los siguientes métodos de representación de conocimiento: *Redes Bayesianas* y *Marcos*. Haga especial énfasis en los siguientes aspectos:

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

### SOLUCIÓN

a) Tanto redes bayesianas como marcos (nos referiremos a la versión más actual, no a la desarrollada por Marvin Minsky) son dos tipos de redes formadas por nodos y arcos.

En una red bayesiana, un nodo es una variable aleatoria, mientras que en una jerarquía de marcos puede ser una clase de objetos o una instancia (ejemplo o elemento) de una clase. En una red bayesiana cada variable puede tomar un conjunto de valores exclusivos y exhaustivos, mientras que un marco está formado por un conjunto de campos o propiedades que pueden tomar valores de muy distinta naturaleza: univaluados, multivaluados, con restricciones, con factores de certeza asociados, etc.

En una red bayesiana, los arcos determinan relaciones de dependencia condicional entre variables, mientras que en una jerarquía de marcos representan relaciones de inclusión de una subclase en una clase, o de pertenencia de una instancia a una clase.

b) Una red bayesiana permite calcular la probabilidad a posteriori de cualquier variable de la red, dada la evidencia. Para ello se pueden utilizar algoritmos de diferente naturaleza, que explotan el hecho de que la probabilidad conjunta de las variables de una red bayesiana factoriza en función de las tablas de probabilidades condicionales asociadas a sus nodos. Por ejemplo, si la red bayesiana tienen forma de árbol, se puede utilizar un algoritmo eficiente basado en el paso de mensajes probabilistas entre nodos vecinos.

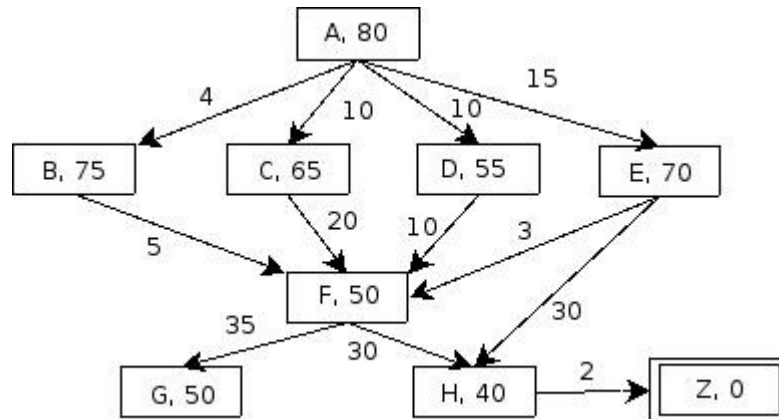
En una jerarquía de marcos, cada clase o instancia hereda los campos de sus ascendientes, a falta de información en el propio marco en relación a los campos heredados. De esta forma se realiza una especie de razonamiento por defecto. Por otra parte, los llamados “demonios” son un conjunto de funciones asociadas a campos, que permiten mantener la consistencia del sistema ante cualquier tipo de cambio que se produzca en la jerarquía.

c) Las redes bayesianas se aplican a dominios caracterizados por la existencia de incertidumbre. Se aplican a tareas de diagnóstico o predicción. Un posible campo de aplicación es el diagnóstico médico.

Los marcos sirven para organizar de forma estructurada y eficiente el conocimiento sobre los objetos que aparecen en un dominio. Se pueden utilizar, por ejemplo, en la construcción de la base de afirmaciones de un sistema experto.

### Ejercicio 1. Segunda Semana. (Valoración: 4 puntos)

En el grafo de la figura 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.



a) (máx. 3 puntos) Aplicar los siguientes algoritmos a este grafo: búsqueda en amplitud, búsqueda en profundidad, primero el mejor y A\*. Describir cada uno de los pasos seguidos indicando el contenido de las listas ABIERTA y CERRADA y dibujando en cada etapa del algoritmo el subgrafo parcial creado. Devolver igualmente el camino solución.

b) (máx. 1 punto) ¿Es monótona la heurística empleada? Razonar la respuesta e indicar qué consecuencias tiene en el proceso de búsqueda cuando se utiliza el algoritmo A\*.

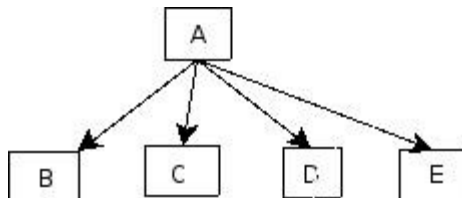
### SOLUCIÓN

#### a) Búsqueda en amplitud

Hacemos búsqueda de izquierda a derecha. Utilizamos una estructura tipo cola

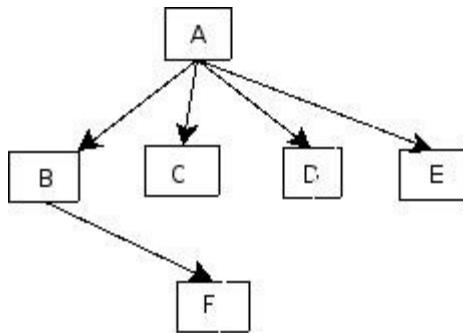
Ciclo 1: Expandimos A

COLA: {B,C,D,E}



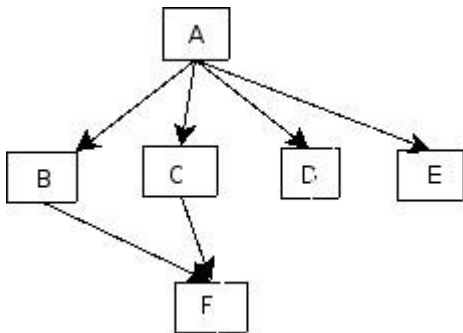
**Ciclo 2:** Expandimos B

COLA: {C,D,E,F}



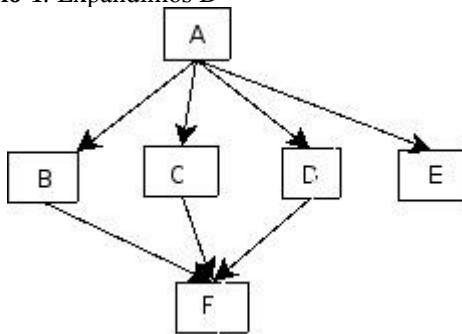
**Ciclo 3:** Expandimos C

COLA: {D, E, F}



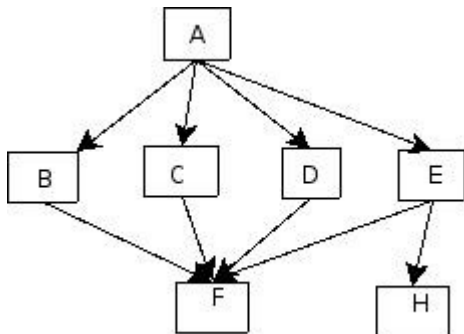
**Ciclo 4:** Expandimos D

COLA: {E, F}



**Ciclo 5:** Expandimos E

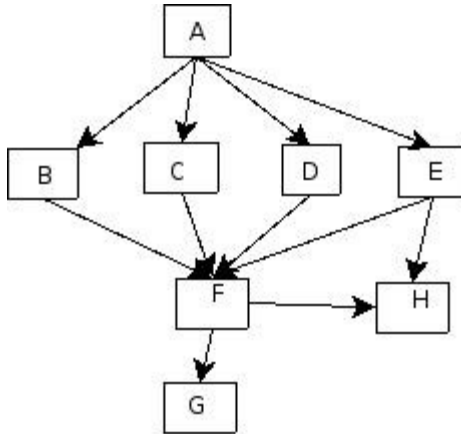
COLA: {F, H}





**Ciclo 6:** Expandimos F

COLA: {H, G}



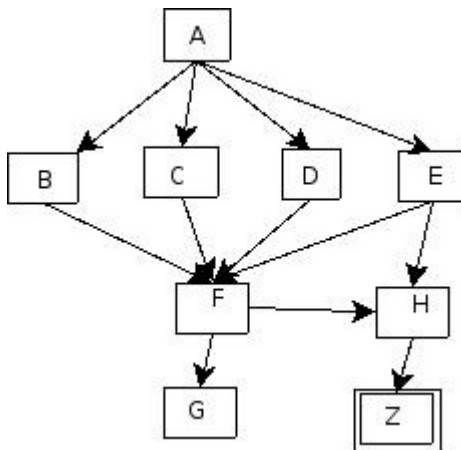
**Ciclo 7:** Expandimos H

COLA: {G,Z}

Obtenemos Z . Es nodo meta.

CAMINO SOLUCIÓN:

$A \rightarrow E \rightarrow H \rightarrow Z$

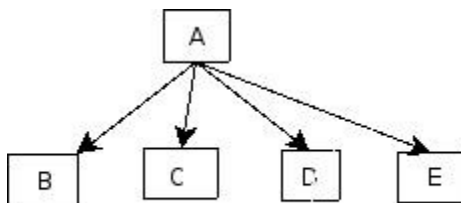


## b) Búsqueda en profundidad

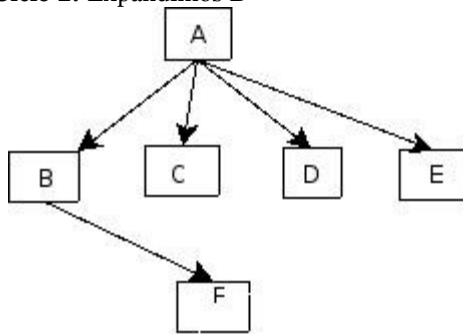
Orden de expansión de los nodos sucesores de izquierda a derecha. Utilizamos una estructura de tipo PILA

**Ciclo 1:** Expandimos A

PILA: {B,C,D,E}

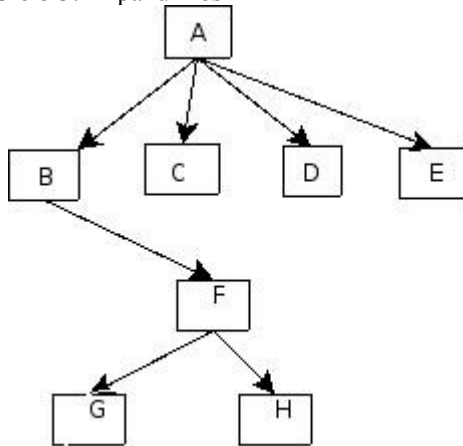


**Ciclo 2:** Expandimos B



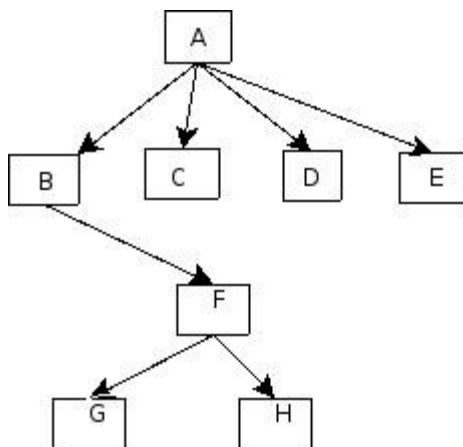
PILA: {F,C,D,E}

**Ciclo 3:** Expandimos F



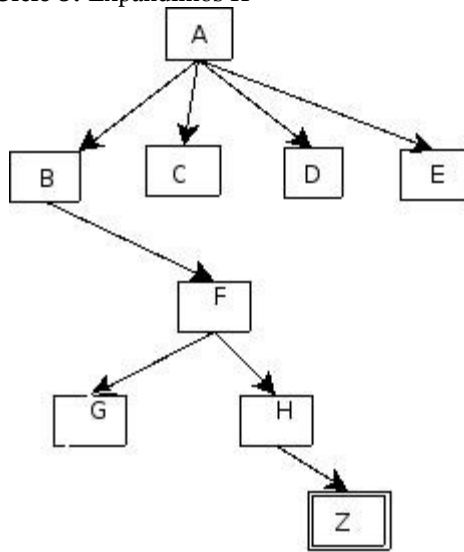
PILA: {G,H,C,D,E}

**Ciclo 4:** Expandimos G



PILA: {H,C,D,E}

**Ciclo 5:** Expandimos H



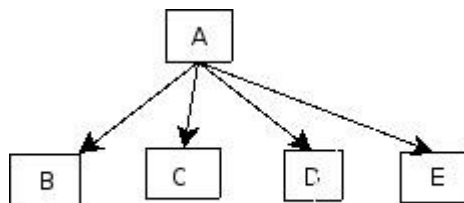
PILA: {Z,C,D,E}

Obtenemos Z. Es Meta.

CAMINO SOLUCIÓN:  $A \rightarrow B \rightarrow F \rightarrow H \rightarrow Z$

### c) Búsqueda primero el mejor

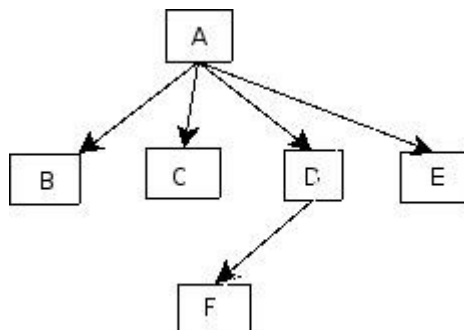
**Ciclo 1:** Expandimos A



CERRADA={A}

ABIERTA={B(75),C(65),D(55),E(70)}

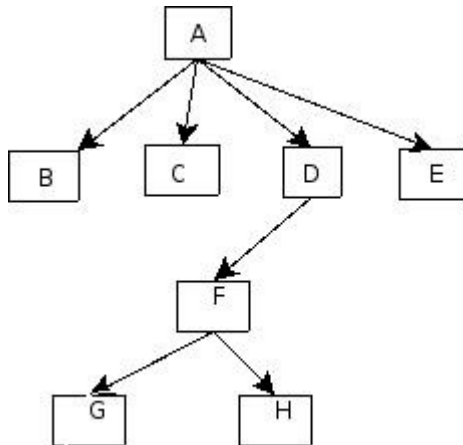
**Ciclo 2:** Expandimos D



CERRADA={A,D}

ABIERTA={B(75),C(65),E(70),F(50)}

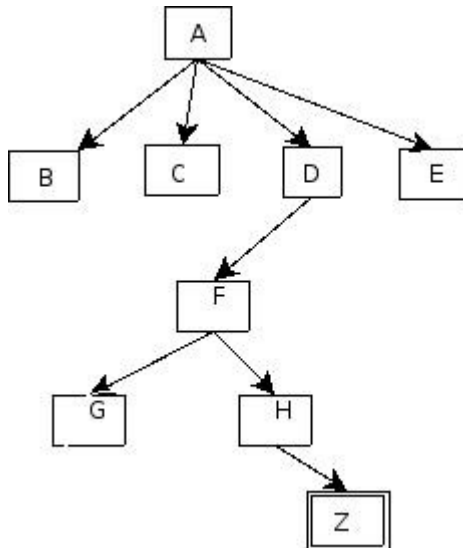
**Ciclo 3:** Expandimos F



CERRADA={A,D,F}

ABIERTA={B(75),C(65),E(70),G(50),H(40)}

**Ciclo 4:** Expandimos H



CERRADA={A,D,F,H}

ABIERTA={B(75),C(65),E(70),G(50),Z(0)}

Obtenemos Z. Es meta.

CAMINO SOLUCIÓN: A → D → F → H → Z

#### d) Búsqueda A\*

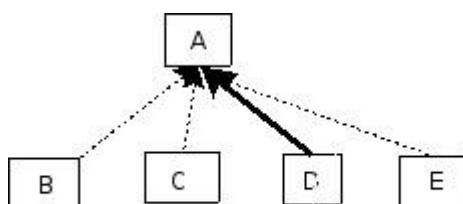
**Ciclo 0:** A es el nodo inicial



CERRADA={}

ABIERTA={A(80)}

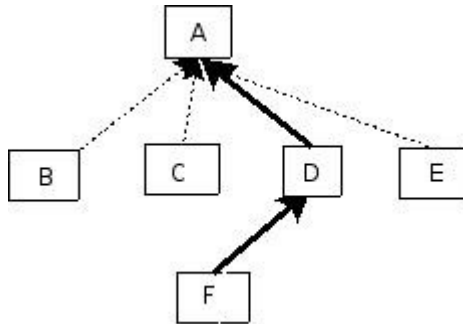
**Ciclo 1:** Expandimos A



CERRADA={A}

ABIERTA={B(4+75),C(10+65),D(10+55),E(15+70)}

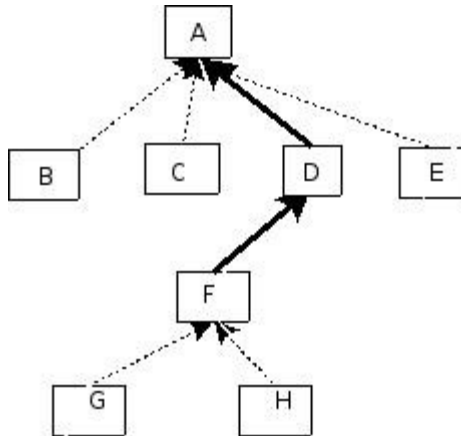
**Ciclo 2:** Expandimos D



CERRADA={A,D}

ABIERTA={B(4+75),C(10+65),E(15+70),F(10+10+50)}

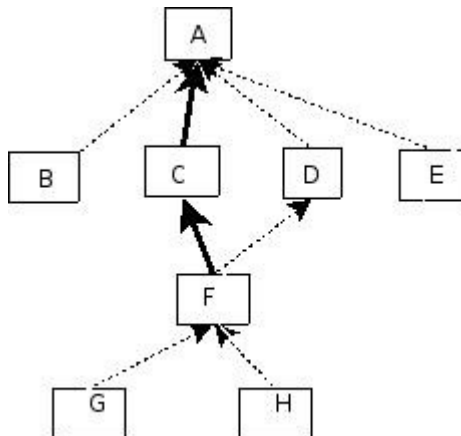
**Ciclo 3:** Expandimos F



CERRADA={A,D,F}

ABIERTA={B(4+75),C(10+65),E(15+70),G(10+10+35+50),H(10+10+30+40)}

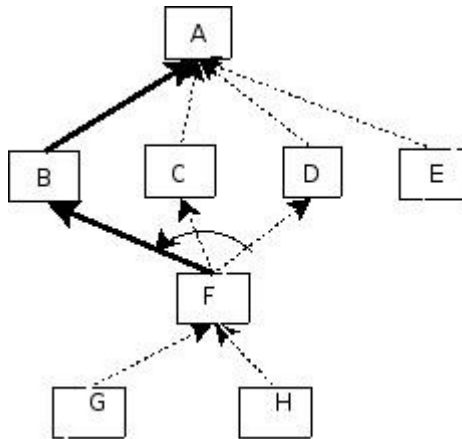
**Ciclo 4:** Expandimos C



CERRADA={A,D,F,C}

ABIERTA={B(4+75),E(15+70),G(10+10+35+50),H(10+10+30+40)}

**Ciclo 5:** Expandimos B

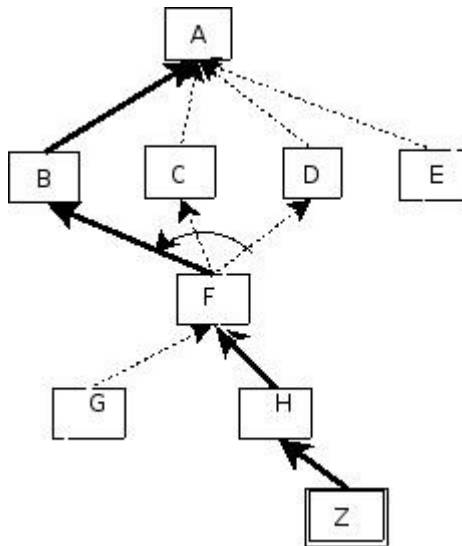


CERRADA={A,D,F,C,B}

ABIERTA={E(15+70),G(4+5+35+50),H(4+5+30+40)}.

Hay una redirección. Ya que al expandir el nodo B hemos encontrado un camino con menor coste para ir desde el nodo A hasta el F.

**Ciclo 6:** Expandimos H



CERRADA={A,D,F,C,B,H}

ABIERTA={E(15+70),G(4+5+35+50),Z(4+5+30+2+0)}

**Ciclo 7:** Expandimos Z

Es meta

CAMINO SOLUCIÓN (de coste 41):

A → B → F → H → Z

**1.b)**

La función de evaluación heurística no es monótona puesto que no se cumple que:

$$\forall (n,n') h(n) \leq \text{coste}(n,n') + h(n')$$

donde n' es un nodo sucesor de n y coste(n,n') representa el coste del enlace entre n y n'.

Por ejemplo:  $h(A) = 80 > (4 + h(B)) = 79$

Como consecuencia, ha sido necesario revisar la existencia de reorientaciones de enlaces.

## Ejercicio 2. Segunda Semana. (Valoración: 3 puntos)

La base de conocimiento de un sistema basado en reglas contiene las siguientes reglas:

R1: Si $h_2$ entonces $h_4$	R5: Si $h_3$ y $h_{11}$ entonces $h_2$	R9: Si $h_1$ entonces $h_{13}$
R2: Si $h_1$ entonces $h_3$	R6: Si $h_{10}$ y $h_{16}$ entonces $h_{13}$	R10: Si $h_4$ entonces $h_7$
R3: Si $h_3$ y $h_8$ entonces $h_5$	R7: Si $h_{10}$ entonces $h_{14}$	R11: Si $h_1$ y $h_8$ entonces $h_{10}$
R4: Si $h_3$ y $h_{10}$ entonces $h_5$	R8: Si $h_2$ entonces $h_{15}$	R12: Si $h_{18}$ entonces $h_8$

donde  $h_i$  representa un hecho. Cada hecho se almacena en la Base de Afirmaciones de la siguiente forma:  $h_i(t)$ , que significa que  $h_i$  fue inferido en el ciclo  $t$ . Inicialmente,  $BA_0 = \{h_1, h_9, h_{11}\}$ .

a) Suponiendo que nuestro objetivo es obtener  $h_{13}$ , indicar detalladamente cómo evoluciona la ejecución del método de encadenamiento hacia adelante, a partir de  $BA_0$ . ¿Es posible obtener  $h_{13}$ ? ¿Hasta qué ciclo llegaríamos? Como mecanismo de control consideramos el criterio de refractariedad (no se puede ejecutar en el presente ciclo una regla que fue ejecutada en el ciclo anterior) y tienen preferencia las reglas de menor subíndice.

b) Considerando la misma base de conocimiento y la base de afirmaciones  $BA = \{h_1, h_{11}\}$ , averiguar, aplicando un método de encadenamiento hacia atrás, si en algún momento podríamos llegar a tener  $h_7$ .

## SOLUCIÓN

a) Teniendo en cuenta la base de afirmaciones inicial  $BA_0 = \{h_1, h_9, h_{11}\}$ :

Ciclo 1: Podríamos aplicar las siguientes reglas (conjunto conflicto):  $\{R2, R9\}$ . Resolución de conflictos: Como es el primer ciclo sólo debemos tener en cuenta la preferencia de las reglas con menor subíndice. Aplicamos por tanto, la regla R2. La base de afirmaciones sería:  $BA_1 = \{h_1(0), h_9(0), h_{11}(0), h_3(1)\}$

Ciclo 2: Podríamos aplicar las siguientes reglas:  $\{R2, R9, R5\}$ . Tras refractariedad el conjunto conflicto es  $\{R5, R9\}$ . Por el criterio de preferencia de las reglas con menor subíndice, aplicamos la regla R5. La base de afirmaciones sería:  $BA_2 = \{h_1(0), h_9(0), h_{11}(0), h_3(1), h_2(2)\}$ .

Ciclo 3: Podríamos aplicar las siguientes reglas:  $\{R1, R2, R9, R5, R8\}$ . Tras refractariedad el conjunto conflicto es  $\{R1, R2, R9, R8\}$ . Por el criterio de preferencia de las reglas con menor subíndice, aplicamos la regla R1. La base de afirmaciones sería:  $BA_3 = \{h_1(0), h_9(0), h_{11}(0), h_3(1), h_2(2), h_4(3)\}$

Ciclo 4: Podríamos aplicar las siguientes reglas:  $\{R1, R2, R5, R8, R9, R10\}$ . Tras refractariedad el conjunto conflicto es  $\{R2, R5, R8, R9, R10\}$ . Por el criterio de preferencia de las reglas con menor subíndice, aplicamos la regla R2. La base de afirmaciones sería:  $BA_4 = \{h_1(0), h_9(0), h_{11}(0), h_3(4), h_2(2), h_4(3)\}$

Podemos comprobar que seguiríamos aplicando sucesivamente las reglas R1 y R2 con lo que no podríamos llegar nunca a aplicar R8 y obtener por tanto el objetivo  $h_{15}$ .

b) Suponemos ahora que nuestro objetivo es  $h_7$ . Aplicando encadenamiento hacia atrás y teniendo en cuenta la regla R10, obtendríamos como subobjetivo el hecho  $h_4$ . En la base de afirmaciones no se encuentra  $h_4$  así que, teniendo en cuenta la regla R1 obtenemos como nuevo subobjetivo el hecho  $h_2$ . Teniendo en cuenta la regla R5 obtenemos como nuevos subobjetivos los hechos  $h_3$  y  $h_{11}$ . El hecho  $h_{11}$  lo tenemos en la base de afirmaciones dada, así que nuestro objetivo ahora es ver si podemos obtener  $h_3$ . Volviendo a aplicar encadenamiento hacia atrás, y teniendo en cuenta la regla R2, vemos que podemos obtener  $h_3$  ya que tenemos  $h_1$  en la base de afirmaciones dada. Por tanto, sí podemos llegar a obtener  $h_7$  con la base de afirmaciones inicial y aplicando encadenamiento hacia atrás.

### Ejercicio 3. Segunda semana. (Valoración: 3 puntos)

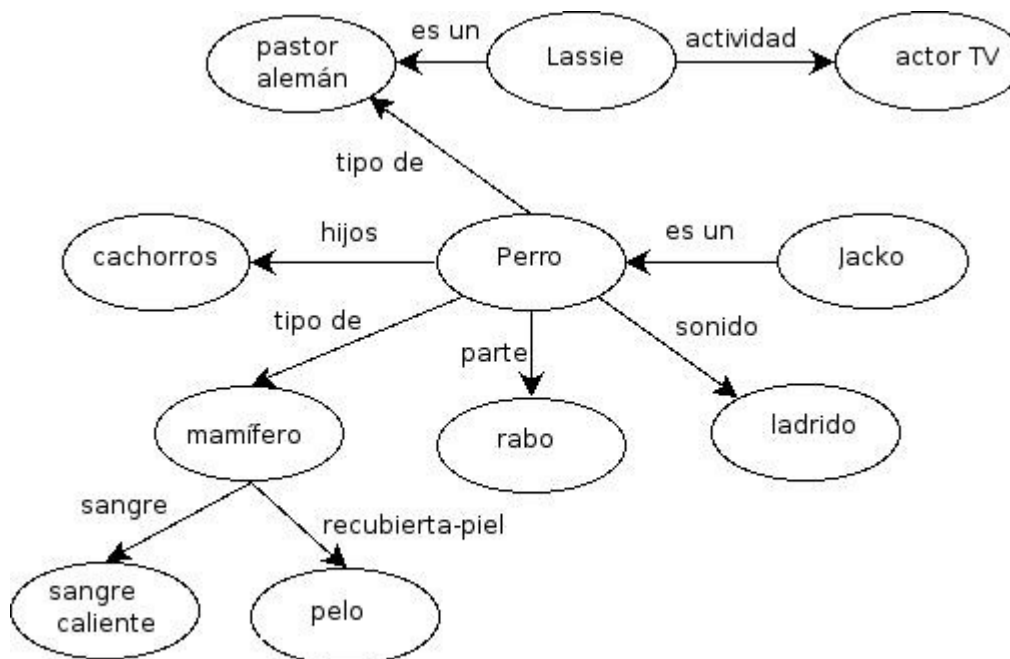
Considere el siguiente texto:

*El perro es un animal mamífero y como tal su sangre es caliente y su piel está recubierta de pelo. Tres características importantes de cualquier perro es que una de sus partes es el rabo, su sonido es el ladrido y sus hijos son los cachorros. Jacko es un perro. Un perro famoso, es Lassie que es un pastor alemán y además es actor de televisión.*

Represente la información contenida en el texto en forma de Marcos, Redes Semánticas y Lógica de Predicados

### SOLUCIÓN

#### Redes semánticas





### Marcos

```
clase mamífero es
    subclase-de nil;
    sangre=sangre-caliente;
    recubierta_piel=pelo;
fin

clase perro es
    subclase-de mamífero
    parte=rabo;
    sonido=ladrido;
    hijos=cachorros;
fin

clase pastor es
    subclase-de perro;
fin

instancia Jacko es
    instancia-de perro;
fin

instancia Lassie es
    instancia-de pastor alemán;
    actividad=actor TV
fin
```

### Reglas

```
 $\forall xperro(x) \rightarrow parte(x, rabo);$ 
 $\forall xperro(x) \rightarrow sonido(x, ladrido);$ 
 $\forall xperro(x) \rightarrow hijos(x, cachorros);$ 
 $\forall xperro(x) \rightarrow mamifero(x);$ 
 $\forall xmamifero(x) \rightarrow sangre(x, sangre-caliente);$ 
 $\forall xmamifero(x) \rightarrow recubierta-piel(x, pelo);$ 
 $\forall xpastor-aleman(x) \rightarrow perro(x);$ 
 $pastor-aleman(Lassie);$ 
 $actividad(Lassie, actor-tv)$ 
 $perro(Jacko);$ 
```