

# Programación lógica (2008–09)

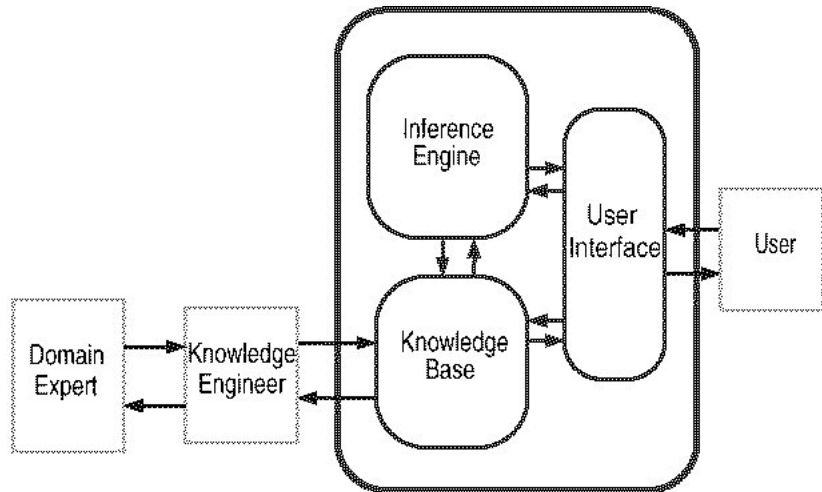
## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

José A. Alonso Jiménez

Grupo de Lógica Computacional  
Departamento de Ciencias de la Computación e I.A.  
Universidad de Sevilla

1. Arquitectura de los SBC
2. Metaintérpretes
3. Consulta al usuario
4. Explicación
5. Depuración de bases de conocimiento

## Arquitectura de los SBC (Poole-98 p. 200)



# Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

## 1. Arquitectura de los SBC

## 2. Metaintérpretes

Ejemplo de BC objeto

Metaintérprete simple

Metaintérprete ampliado

Metaintérprete con profundidad acotada

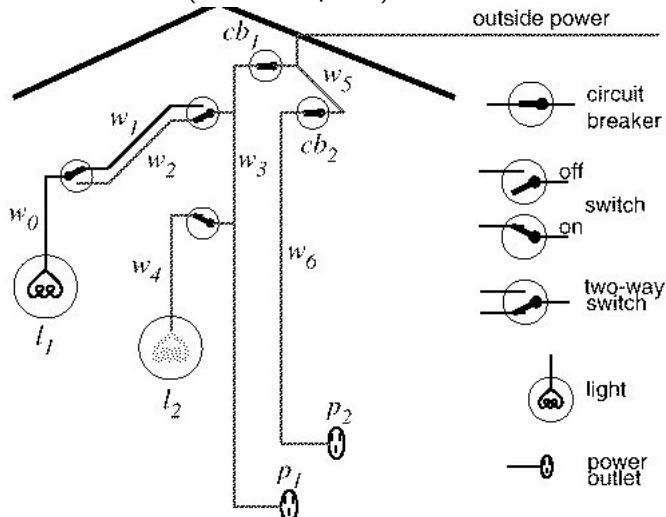
## 3. Consulta al usuario

## 4. Explicación

## 5. Depuración de bases de conocimiento

## Ejemplo de BC objeto

- El sistema eléctrico (Poole-98 p. 16)



## Ejemplo de BC objeto: i\_electrica.pl

### ► Operadores

---

```
:- op(1100, xfx, <-).  
:- op(1000, xfy, &).
```

---

### ► luz(?L) se verifica si L es una luz

---

```
luz(l1) <- verdad.  
luz(l2) <- verdad.
```

---

### ► abajo(?I) se verifica si el interruptor I está hacia abajo

---

```
abajo(i1) <- verdad.
```

---

## Ejemplo de BC objeto: `i_electrica.pl`

- ▶ `arriba(?I)` se verifica si el interruptor I está hacia arriba

---

```
arriba(i2) <- verdad.
```

```
arriba(i3) <- verdad.
```

---

- ▶ `esta_bien(?X)` se verifica si la luz (o cortacircuito) X está bien.

---

```
esta_bien(l1) <- verdad.
```

```
esta_bien(l2) <- verdad.
```

```
esta_bien(cc1) <- verdad.
```

```
esta_bien(cc2) <- verdad.
```

---

## Ejemplo de BC objeto: i\_electrica.pl

- conectado(?D1,?D2) se verifica si los dispositivos D1 y D2 está conectados (de forma que la corriente eléctrica va de D2 a D1)

---

```
conectado(l1,c0) <- verdad.  
conectado(c0,c1) <- arriba(i2).  
conectado(c0,c2) <- abajo(i2).  
conectado(c1,c3) <- arriba(i1).  
conectado(c2,c3) <- abajo(i1).  
conectado(l2,c4) <- verdad.  
conectado(c4,c3) <- arriba(i3).  
conectado(e1,c3) <- verdad.  
conectado(c3,c5) <- esta_bien(cc1).  
conectado(e2,c6) <- verdad.  
conectado(c6,c5) <- esta_bien(cc2).  
conectado(c5,entrada) <- verdad.
```

---



## Ejemplo de BC objeto: i\_electrica.pl

- ▶ `tiene_corriente(?D)` se verifica si el dispositivo D tiene corriente

---

```
tiene_corriente(D)      <- conectado(D,D1) &
                        tiene_corriente(D1).
tiene_corriente(entrada) <- verdad.
```

---

- ▶ `esta_encendida(?L)` se verifica si la luz L está encendida

---

```
esta_encendida(L) <- luz(L) &
                  esta_bien(L) &
                  tiene_corriente(L).
```

---

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

### 1. Arquitectura de los SBC

### 2. Metaintérpretes

Ejemplo de BC objeto

**Metaintérprete simple**

Metaintérprete ampliado

Metaintérprete con profundidad acotada

### 3. Consulta al usuario

### 4. Explicación

### 5. Depuración de bases de conocimiento

## Metaintérprete simple

### ► Sesión

```
?- prueba(esta_encendida(X)).
```

```
X = 12 ;
```

```
No
```

### ► Metaintérprete simple

prueba(+0) se verifica si el objetivo 0 se puede demostrar a partir de la BC objeto

---

```
prueba(verdad).
```

```
prueba((A & B)) :-
```

```
    prueba(A),
```

```
    prueba(B).
```

```
prueba(A) :-
```

```
    (A <- B),
```

```
    prueba(B).
```

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

### 1. Arquitectura de los SBC

### 2. Metaintérpretes

Ejemplo de BC objeto

Metaintérprete simple

**Metaintérprete ampliado**

Metaintérprete con profundidad acotada

### 3. Consulta al usuario

### 4. Explicación

### 5. Depuración de bases de conocimiento

## Metaintérprete ampliado

- ▶ Ampliación del lenguaje base:
  - ▶ Disyunciones: A ; B
  - ▶ Predicados predefinidos: is, <, ...
- ▶ Operadores

---

```
:- op(1100, xfx, <-).  
:- op(1000, xfy, [&,;]).
```

---

- ▶ Ejemplo de BC ampliada

---

```
vecino(X,Y) <- Y is X-1 ; Y is X+1.
```

---

- ▶ Sesión

```
?- prueba(vecino(2,3)).  
Yes  
?- prueba(vecino(3,2)).  
Yes
```

## Metaintérprete ampliado

- ▶ prueba(+0) se verifica si el objetivo 0 se puede demostrar a partir de la BC objeto (que puede contener disyunciones y predicados predefinidos)

---

```
prueba(verdad).
```

```
prueba((A & B)) :- prueba(A), prueba(B).
```

```
prueba((A ; B)) :- prueba(A).
```

```
prueba((A ; B)) :- prueba(B).
```

```
prueba(A)      :- predefinido(A), A.
```

```
prueba(A)      :- (A <- B), prueba(B).
```

---

- ▶ predefinido(+0) se verifica si 0 es un predicado predefinido

---

```
predefinido((X is Y)).
```

```
predefinido((X < Y)).
```

---

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

### 1. Arquitectura de los SBC

### 2. Metaintérpretes

Ejemplo de BC objeto

Metaintérprete simple

Metaintérprete ampliado

**Metaintérprete con profundidad acotada**

### 3. Consulta al usuario

### 4. Explicación

### 5. Depuración de bases de conocimiento

## Metaintérprete con profundidad acotada

- ▶ prueba\_pa(+0,+N) es verdad si el objetivo 0 se puede demostrar con profundidad N como máximo

---

```
prueba_pa(verdad, _N).  
prueba_pa((A & B), N) :-  
    prueba_pa(A, N),  
    prueba_pa(B, N).  
prueba_pa(A, N) :-  
    N >= 0,  
    N1 is N-1,  
    (A <- B),  
    prueba_pa(B, N1).
```

---



## Metaintérprete con profundidad acotada

### ► Ejemplo

---

```
numero(0) <- verdad.  
numero(s(X)) <- numero(X).
```

---

### ► Sesión

```
?- prueba_pa(numero(N), 3).  
N = 0 ;  
N = s(0) ;  
N = s(s(0)) ;  
N = s(s(s(0))) ;  
No  
?- prueba_pa(numero(s(s(0))), 1).  
No  
?- prueba_pa(numero(s(s(0))), 2).  
Yes
```

## Metaintérprete con profundidad acotada

- ▶ Segundo ejemplo
  - ▶ Programa

---

```
hermano(X,Y) <- hermano(Y,X).  
hermano(b,a) <- verdad.
```

---

- ▶ Sesión

```
?- prueba(hermano(a,X)).  
ERROR: Out of local stack  
?- prueba_pa(hermano(a,X),1).  
X = b ; No  
?- prueba_pa(hermano(X,Y),1).  
X = a Y = b ; X = b Y = a ; No  
?- prueba_pa(hermano(a,X),2).  
X = b ; No  
?- prueba_pa(hermano(a,X),3).  
X = b ; X = b ; No
```

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

1. Arquitectura de los SBC

2. Metaintérpretes

3. Consulta al usuario

**Consulta al usuario**

Ejemplo de consulta al usuario

Metaintérprete con preguntas

Otros tipos de consultas

4. Explicación

5. Depuración de bases de conocimiento

## Consulta al usuario

- ▶ Planteamiento del problema: Aportación del conocimiento de los usuarios cuando:
  - ▶ No conocen las interioridades del sistema
  - ▶ No son expertos en el dominio
  - ▶ No concocen qué información es importante
  - ▶ No conocen la sintaxis del sistema
  - ▶ Poseen información esencial del caso particular del problema
- ▶ Funciones del sistema:
  - ▶ Determinar qué información es importante
  - ▶ Preguntar al usuario sobre dicha información
- ▶ Tipos de objetivos:
  - ▶ No preguntable
  - ▶ Preguntable no-preguntado
  - ▶ Preguntado

## Consulta al usuario

- ▶ Preguntas elementales:
  - ▶ Son objetivos básicos (sin variables)
  - ▶ Las respuestas son “sí” o “no”
  - ▶ Se plantean si son importantes, preguntables y no preguntadas
  - ▶ El sistema almacena la respuesta

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

### 1. Arquitectura de los SBC

### 2. Metaintérpretes

### 3. Consulta al usuario

Consulta al usuario

**Ejemplo de consulta al usuario**

Metaintérprete con preguntas

Otros tipos de consultas

### 4. Explicación

### 5. Depuración de bases de conocimiento

## Ejemplo de consulta al usuario

- ▶ Ejemplo: Modificación de `i_electrica.pl`

---

```
preguntable(arriba(_)).  
preguntable(abajo(_)).
```

---

- ▶ Sesión

```
?- prueba_p(esta_encendida(L)).  
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no)  
|: si.  
¿Es verdad arriba(i1)? (si/no)  
|: no.  
¿Es verdad abajo(i2)? (si/no)  
|: no.  
¿Es verdad arriba(i3)? (si/no)  
|: si.  
  
L = 12 ;  
No
```

## Ejemplo de consulta al usuario (cont.)

```
?- listing(respuesta).
respuesta(arriba(i2), si).
respuesta(arriba(i1), no).
respuesta(abajo(i2), no).
respuesta(arriba(i3), si).
Yes

?- retractall(respuesta(_,_)).
Yes

?- prueba_p(esta_encendida(L)).
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no)
|: si.
¿Es verdad arriba(i1)? (si/no)
|: si.
L = l1 ;
¿Es verdad abajo(i2)? (si/no)
|:
```



## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

### 1. Arquitectura de los SBC

### 2. Metaintérpretes

### 3. Consulta al usuario

Consulta al usuario

Ejemplo de consulta al usuario

**Metaintérprete con preguntas**

Otros tipos de consultas

### 4. Explicación

### 5. Depuración de bases de conocimiento

## Metaintérprete con preguntas

- ▶ prueba\_p(+0) se verifica si el objetivo 0 se puede demostrar a partir de la BC objeto y las respuestas del usuario

---

```
prueba_p(verdad).
prueba_p((A & B)) :- prueba_p(A), prueba_p(B).
prueba_p(G)      :- preguntable(G), respuesta(G,si).
prueba_p(G) :-
    preguntable(G),
    no_preguntado(G),
    pregunta(G,Respuesta),
    assert(respuesta(G,Respuesta)),
    Respuesta=si.
prueba_p(A) :-
    (A <- B),
    prueba_p(B).
```

## Metaintérprete con preguntas (cont.)

- ▶ `respuesta(?O,?R)` se verifica si la respuesta al objetivo `O` es `R`.  
[Se añade dinámicamente a la base de datos]

---

```
:- dynamic respuesta/2.
```

---

- ▶ `no_preguntado(+O)` es verdad si el objetivo `O` no se ha preguntado

---

```
no_preguntado(O) :-  
    not(respuesta(O, _)).
```

---

## Metaintérprete con preguntas (cont.)

- ▶ pregunta(+O, -Respuesta) pregunta O al usuario y éste responde la Respuesta

---

```
pregunta(O,Respuesta) :-  
    escribe_lista(['¿Es verdad ',O,'? (si/no)']),  
    read(Respuesta).
```

---

- ▶ escribe\_lista(+L) escribe cada uno de los elementos de la lista L

---

```
escribe_lista([]) :- nl.  
escribe_lista([X|L]) :-  
    write(X),  
    escribe_lista(L).
```

---

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

### 1. Arquitectura de los SBC

### 2. Metaintérpretes

### 3. Consulta al usuario

Consulta al usuario

Ejemplo de consulta al usuario

Metaintérprete con preguntas

**Otros tipos de consultas**

### 4. Explicación

### 5. Depuración de bases de conocimiento

## Otros tipos de consultas

- ▶ Consulta sobre relaciones funcionales
  - ▶ Ejemplo: edad(P, N)
- ▶ Forma de la consulta:
  - ▶ Menús
  - ▶ Texto de formato libre
- ▶ Preguntas generales

Pregunta	¿Preguntable?	Respuesta
$p(X)$	Sí	$p(f(Z))$
$p(f(c))$	No	
$p(a)$	Sí	Sí
$p(X)$	Sí	No
$P(X)$	No	

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

1. Arquitectura de los SBC
2. Metaintérpretes
3. Consulta al usuario
4. Explicación
  - Explicaciones
    - Metaintérprete con árbol de prueba
    - Metaintérprete con CÓMO
    - Metaintérprete con PORQUÉ
5. Depuración de bases de conocimiento

## Explicación

- ▶ Necesidad del sistema de justificar sus respuestas
- ▶ Uso en explicación y depuración
- ▶ Tipos de explicaciones:
  - ▶ Preguntar CÓMO se ha probado un objetivo
  - ▶ Preguntar PORQUÉ plantea una consulta
  - ▶ Preguntar PORQUÉ\_NO se ha probado un objetivo
- ▶ Preguntas CÓMO
  - ▶ El usuario puede preguntar CÓMO ha probado el objetivo  $q$
  - ▶ El sistema muestra la instancia de la regla usada  
 $| q :- p_1, \dots, p_n.$
  - ▶ El usuario puede preguntar CÓMO  $i$  para obtener la regla usada para probar  $p_i$
- ▶ El comando CÓMO permite descender en el árbol de prueba



## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

1. Arquitectura de los SBC

2. Metaintérpretes

3. Consulta al usuario

4. Explicación

Explicaciones

Metaintérprete con árbol de prueba

Metaintérprete con CÓMO

Metaintérprete con PORQUÉ

5. Depuración de bases de conocimiento

## Metaintérprete con árbol de prueba

```
?- [meta_con_explicacion_arbol, i_electrica].
Yes
?- prueba_con_demostracion(esta_encendida(L),T).
L = l2
T = si(esta_encendida(l2),
      (si(luz(l2), verdad) &
       si(esta_bien(l2), verdad) &
       si(tiene_corriente(l2),
          (si(conectado(l2, c4), verdad) &
           si(tiene_corriente(c4),
              (si(conectado(c4, c3),
                  si(arriba(i3), verdad)) &
                  si(tiene_corriente(c3),
                      (si(conectado(c3, c5),
                          si(esta_bien(cc1), verdad)) &
                          si(tiene_corriente(c5),
                              (si(conectado(c5, entrada), verdad) &
                               si(tiene_corriente(entrada), verdad)))))))))) ;
```

No

## Metaintérprete con árbol de prueba

- ▶ Metaintérprete con árbol de prueba

`prueba_con_demostracion(+O,?A)` es verdad si A es un árbol de prueba del objetivo O

---

```
prueba_con_demostracion(verdad,verdad).  
prueba_con_demostracion((A & B),(AA & AB)) :-  
    prueba_con_demostracion(A,AA),  
    prueba_con_demostracion(B,AB).  
prueba_con_demostracion(O,si(O,AB)) :-  
    (O <- B),  
    prueba_con_demostracion(B,AB).
```

---

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

1. Arquitectura de los SBC

2. Metaintérpretes

3. Consulta al usuario

4. Explicación

Explicaciones

Metaintérprete con árbol de prueba

**Metaintérprete con CÓMO**

Metaintérprete con PORQUÉ

5. Depuración de bases de conocimiento

## Metaintérprete con CÓMO

```
?- [meta_con_explicacion_como, i_electrical].
Yes
?- prueba_con_como(esta_encendida(L)).
esta_encendida(l2) :-
    1: luz(l2)
    2: esta_bien(l2)
    3: tiene_corriente(l2)
|: 3.
tiene_corriente(l2) :-
    1: conectado(l2, c4)
    2: tiene_corriente(c4)
|: 2.
tiene_corriente(c4) :-
    1: conectado(c4, c3)
    2: tiene_corriente(c3)
|: 1.
conectado(c4, c3) :-
    1: arriba(i3)
|: 1.
arriba(i3) es un hecho
L = l2 ;
No
```

## Metaintérprete con CÓMO

- ▶ prueba\_con\_como(+O) significa probar el objetivo O a partir de la BC objeto y navegar por su árbol de prueba mediante preguntas CÓMO

---

```
prueba_con_como(O) :-  
    prueba_con_demostracion(O,A),  
    navega(A).
```

---

- ▶ navega(+A) significa que se está navegando en el árbol A

---

```
navega(si(A,verdad)) :-  
    escribe_lista([A,' es un hecho']).  
navega(si(A,B)) :-  
    B \== verdad,  
    escribe_lista([A,' :-']),  
    escribe_cuerpo(B,1,_),  
    read(Orden),  
    interpreta_orden(Orden,B).
```

---

## Metaintérprete con CÓMO

- ▶ `escribe_lista(+L)` escribe cada uno de los elementos de la lista L

---

```
escribe_lista([]) :- nl.
escribe_lista([X|L]) :-
    write(X),
    escribe_lista(L).
```

---

- ▶ `escribe_cuerpo(+B,+N1,?N2)` es verdad si B es un cuerpo que se va a escribir, N1 es el número de átomos antes de la llamada a B y N2 es el número de átomos después de la llamada a B

---

```
escribe_cuerpo(verdad,N,N).
escribe_cuerpo((A & B),N1,N3) :-
    escribe_cuerpo(A,N1,N2),
    escribe_cuerpo(B,N2,N3).
escribe_cuerpo(si(H,_),N,N1) :-
    escribe_lista([' ',N,': ',H]),
    N1 is N+1.
```

---

## Metaintérprete con CÓMO

- ▶ `interpreta_orden(+Orden,+B)` interpreta la Orden sobre el cuerpo B

---

```
interpreta_orden(N,B) :-  
    integer(N),  
    nth(B,N,E),  
    navega(E).
```

---

- ▶ `nth(+E,+N,?A)` es verdad si A es el N-ésimo elemento de la estructura E

---

```
nth(A,1,A) :-  
    not((A = (_,_))).  
nth((A&_),1,A).  
nth(_&B),N,E) :-  
    N>1,  
    N1 is N-1,  
    nth(B,N1,E).
```

---



## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

1. Arquitectura de los SBC

2. Metaintérpretes

3. Consulta al usuario

4. Explicación

Explicaciones

Metaintérprete con árbol de prueba

Metaintérprete con CÓMO

Metaintérprete con PORQUÉ

5. Depuración de bases de conocimiento

## Metaintérprete con PORQUÉ

- ▶ Ejemplo: Modificación de `i_electrica.pl`

---

```
preguntable(arriba(_)).  
preguntable(abajo(_)).
```

---

- ▶ Sesión

```
?- [meta_con_explicacion_porque, i_electrica_con_preguntas].  
Yes  
  
?- prueba_con_porque(esta_encendida(L)).  
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no/porque)  
|: porque.  
Se usa en: conectado(c0, c1) <- arriba(i2).  
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no/porque)  
|: porque.  
Se usa en: tiene_corriente(c0) <- conectado(c0, c1) & tiene_corriente(c1).  
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no/porque)  
|: porque.  
Se usa en: tiene_corriente(l1) <- conectado(l1, c0) & tiene_corriente(c0).
```

## Metaintérprete con PORQUÉ

```
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no/porque)
|: porque.
Se usa en: esta_encendida(l1) <- luz(l1) & esta_bien(l1) & tiene_corriente(l1).
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no/porque)
|: porque.
Porque esa fue su pregunta!
¿Es verdad arriba(i2)? (si/no/porque)
|: si.
¿Es verdad arriba(i1)? (si/no/porque)
|: porque.
Se usa en: conectado(c1, c3) <- arriba(i1).
¿Es verdad arriba(i1)? (si/no/porque)
|: no.
¿Es verdad abajo(i2)? (si/no/porque)
|: no.
¿Es verdad arriba(i3)? (si/no/porque)
|: porque.
Se usa en: conectado(c4, c3) <- arriba(i3).
¿Es verdad arriba(i3)? (si/no/porque)
|: si.

L = 12 ;
No
```

# Metaintérprete con PORQUÉ

## ► Ejemplo 2

### ► Base de conocimiento

---

```
a    <- a1 & a2 & a3.  
a1   <- a11 & a12.  
a11  <- verdad.  
a12  <- verdad.  
a3   <- a31 & a32.  
a31  <- verdad.  
a32  <- verdad.
```

```
preguntable(a2).
```

---

### ► Sesión

```
% prueba_cpa = prueba_con_porque_aux  
?- trace(prueba_cpa, [call, exit]).  
Yes
```

## Metaintérprete con PORQUÉ

```
?- prueba_con_porque(a).
Call: 8) prueba_cpa(a, [])
Call: 9) prueba_cpa((a1&a2&a3), [(a<-a1&a2&a3)])
Call:10) prueba_cpa(a1, [(a<-a1&a2&a3)])
Call:11) prueba_cpa((a11&a12), [(a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Call:12) prueba_cpa(a11, [(a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Call:13) prueba_cpa(verdad, [(a11<-verdad), (a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:13) prueba_cpa(verdad, [(a11<-verdad), (a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:12) prueba_cpa(a11, [(a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Call:12) prueba_cpa(a12, [(a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Call:13) prueba_cpa(verdad, [(a12<-verdad), (a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:13) prueba_cpa(verdad, [(a12<-verdad), (a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:12) prueba_cpa(a12, [(a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:11) prueba_cpa((a11&a12), [(a1<-a11&a12), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:10) prueba_cpa(a1, [(a<-a1&a2&a3)])
Call:10) prueba_cpa((a2&a3), [(a<-a1&a2&a3)])
Call:11) prueba_cpa(a2, [(a<-a1&a2&a3)])
```

## Metaintérprete con PORQUÉ

```
¿Es verdad a2? (si/no/porque)
```

```
|: porque.
```

```
Se usa en:
```

```
  a <-
```

```
    a1 &
```

```
    a2 &
```

```
    a3.
```

```
¿Es verdad a2? (si/no/porque)
```

```
|: porque.
```

```
Porque esa fue su pregunta!
```

```
¿Es verdad a2? (si/no/porque)
```

```
|: si.
```

## Metaintérprete con PORQUÉ

```

Exit:11) prueba_cpa(a2, [(a<-a1&a2&a3)])
Call:11) prueba_cpa(a3, [(a<-a1&a2&a3)])
Call:12) prueba_cpa((a31&a32), [(a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Call:13) prueba_cpa(a31, [(a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Call:14) prueba_cpa(verdad, [(a31<-verdad), (a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:14) prueba_cpa(verdad, [(a31<-verdad), (a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:13) prueba_cpa(a31, [(a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Call:13) prueba_cpa(a32, [(a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Call:14) prueba_cpa(verdad, [(a32<-verdad), (a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:14) prueba_cpa(verdad, [(a32<-verdad), (a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:13) prueba_cpa(a32, [(a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:12) prueba_cpa((a31&a32), [(a3<-a31&a32), (a<-a1&a2&a3)])
Exit:11) prueba_cpa(a3, [(a<-a1&a2&a3)])
Exit:10) prueba_cpa((a2&a3), [(a<-a1&a2&a3)])
Exit: 9) prueba_cpa((a1&a2&a3), [(a<-a1&a2&a3)])
Exit: 8) prueba_cpa(a, [])

```

Yes

## Metaintérprete con PORQUÉ

- ▶ `prueba_con_porque(+0)` significa probar el objetivo 0, con las respuestas del usuario, permitiéndole preguntar PORQUÉ se le plantean preguntas

---

```
prueba_con_porque(0) :-  
    prueba_con_porque_aux(0, []).
```

---



## Metaintérprete con PORQUÉ

- ▶ `prueba_con_porque_aux(+0,+Antecedentes)` se verifica si 0 es probable con la lista de `Antecedentes`  
[Pregunta al usuario y le permite preguntar PORQUÉ ]

---

```
prueba_con_porque_aux(verdad,_).
prueba_con_porque_aux((A & B), Antecedentes) :-
    prueba_con_porque_aux(A,Antecedentes),
    prueba_con_porque_aux(B,Antecedentes).
prueba_con_porque_aux(0,_) :-
    preguntable(0),
    respuesta(0,si).
prueba_con_porque_aux(0,Antecedentes) :-
    preguntable(0),
    no_preguntado(0),
    pregunta(0,Respuesta,Antecedentes),
    assert(respuesta(0,Respuesta)),
    Respuesta=si.
prueba_con_porque_aux(A,Antecedentes) :-
    (A <- B),
    prueba_con_porque_aux(B,[(A <- B)|Antecedentes]).
```

---

## Metaintérprete con PORQUÉ

- ▶ `pregunta(+O,-Respuesta,+Antecedentes)` pregunta al usuario, en el contexto dado por los Antecedentes, la cuestión `O` y éste responde la Respuesta

---

```
pregunta(O,Respuesta,Antecedentes) :-  
    escribe_lista(['¿Es verdad ',O,'? (si/no/porque)']),  
    read(Replica),  
    interpreta(O,Respuesta,Replica,Antecedentes).
```

---

## Metaintérprete con PORQUÉ

- ▶ `interpreta(+O,?Respuesta,+Replica,+Antecedentes)`

---

```
interpreta(_,Replica,Replica,_) :-  
    Replica \== porque.  
interpreta(O,Respuesta,porque,[Regla|Reglas]):-  
    write('Se usa en:'), nl,  
    escribe_regla(Regla),  
    pregunta(O,Respuesta,Reglas).  
interpreta(O,Respuesta,porque,[]) :-  
    write('Porque esa fue su pregunta!'), nl,  
    pregunta(O,Respuesta,[]).
```

---

## Metaintérprete con PORQUÉ

► `escribe_regla(Regla)`

---

```
escribe_regla((A <- B)) :-  
    escribe_lista([' ',A, ' <- ']),  
    escribe_cuerpo(B).
```

---

► `escribe_cuerpo(C)`

---

```
escribe_cuerpo((A & B)) :-  
    escribe_lista([' ',A, ' &']),  
    escribe_cuerpo(B).  
escribe_cuerpo(A) :-  
    not(A = (_B & _C)),  
    escribe_lista([' ',A, '.']).
```

---

## Metaintérprete con PORQUÉ

- ▶ Utilidad de saber porqué el sistema plantea una pregunta:
- ▶ Aumenta la confianza del usuario
- ▶ Ayuda al ingeniero del conocimiento en la optimización de las preguntas realizadas por el sistema
- ▶ Una pregunta irrelevante puede manifestar la existencia de problemas en el sistema
- ▶ El usuario puede usar el sistema para aprender

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

1. Arquitectura de los SBC

2. Metaintérpretes

3. Consulta al usuario

4. Explicación

5. Depuración de bases de conocimiento

Tipos de errores no sintácticos

Procedimiento de depuración de bases de conocimiento

## Depuración de bases de conocimiento:

- ▶ Tipos de errores no sintácticos
  - ▶ Respuestas incorrectas
  - ▶ Respuestas perdidas
  - ▶ Bucle infinito
  - ▶ Preguntas irrelevantes

## Tema 6: Ingeniería del conocimiento y metaintérpretes

1. Arquitectura de los SBC

2. Metaintérpretes

3. Consulta al usuario

4. Explicación

5. Depuración de bases de conocimiento

Tipos de errores no sintácticos

Procedimiento de depuración de bases de conocimiento



## Depuración de bases de conocimiento

- ▶ Depuración de respuestas incorrectas
  - ▶ Una respuesta incorrecta es una respuesta computada que es falsa en la interpretación deseada
  - ▶ Una respuesta incorrecta implica la existencia de una cláusula de la BC que es falsa en la interpretación deseada (o que el sistema de razonamiento es inadecuado)
  - ▶ Si  $q$  es falsa en la interpretación deseada, existe una demostración de  $q$  usando  $q :- p_1, \dots, p_n$ . Entonces
    1. alguna  $p_i$  es falsa (y se depura), o
    2. todas las  $p_i$  son verdaderas (y la cláusula es falsa)
- ▶ Ejemplo
  - ▶ BC errónea: en `i_electrica.pl` cambiar la cláusula `conectado(c1,c3) <- arriba(i1).` por la cláusula errónea `conectado(c1,c3) <- arriba(i3).`

## Depuración de respuestas incorrectas

- ▶ Depuración de respuesta errónea con el metaintérprete con CÓMO

```
?- prueba_con_como(esta_encendida(L)).
esta_encendida(l1) :-
    1: luz(l1)
    2: esta_bien(l1)
    3: tiene_corriente(l1)
|: 3.
tiene_corriente(l1) :-
    1: conectado(l1, c0)
    2: tiene_corriente(c0)
|: 2.
tiene_corriente(c0) :-
    1: conectado(c0, c1)
    2: tiene_corriente(c1)
|: 2.
tiene_corriente(c1) :-
    1: conectado(c1, c3)
    2: tiene_corriente(c3)
|: 1.
conectado(c1, c3) :-
    1: arriba(i3)
```

## Bibliografía

1. Lucas, P. y Gaag, L.v.d. *Principles of Expert Systems* (Addison–Wesley, 1991).
  - ▶ Cap. 1: “Introduction”
  - ▶ Cap. 3: “Production rules and inference”
  - ▶ Cap. 4: “Tools for knowledge and inference inspection”
2. Merritt, D. *Building Expert Systems in Prolog* (Springer Verlag, 1989).
  - ▶ [www.amzi.com/ExpertSystemsInProlog](http://www.amzi.com/ExpertSystemsInProlog)
3. Poole, D.; Mackworth, A. y Goebel, R. *Computational Intelligence (A Logical Approach)* (Oxford University Press, 1998)
  - ▶ Cap. 6: “Knowledge engineering”