

Lógica informática (2011–12)

Tema 12: Introducción a la programación lógica con Prolog

José A. Alonso Jiménez
Andrés Cordon Franco
María J. Hidalgo Doblado

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

Tema 12: Introducción a la programación lógica con Prolog

1. El sistema deductivo de Prolog
2. Las listas en Prolog
3. Operadores en Prolog
4. Control mediante corte
5. Negación como fallo

Tema 12: Introducción a la programación lógica con Prolog

1. El sistema deductivo de Prolog

Deducción Prolog en lógica proposicional

Deducción Prolog en lógica relacional

Deducción Prolog en lógica funcional

2. Las listas en Prolog

3. Operadores en Prolog

4. Control mediante corte

5. Negación como fallo

- └ El sistema deductivo de Prolog
 - └ Deducción Prolog en lógica proposicional

Deducción Prolog en lógica proposicional

- ▶ Base de conocimiento y objetivo:
 - ▶ Base de conocimiento:
 - ▶ Regla 1: Si un animal es ungulado y tiene rayas negras, entonces es una cebra.
 - ▶ Regla 2: Si un animal rumia y es mamífero, entonces es ungulado.
 - ▶ Regla 3: Si un animal es mamífero y tiene pezuñas, entonces es ungulado.
 - ▶ Hecho 1: El animal es mamífero.
 - ▶ Hecho 2: El animal tiene pezuñas.
 - ▶ Hecho 3: El animal tiene rayas negras.
 - ▶ Objetivo: Demostrar a partir de la base de conocimientos que el animal es una cebra.

Deducción Prolog en lógica proposicional

► Programa:

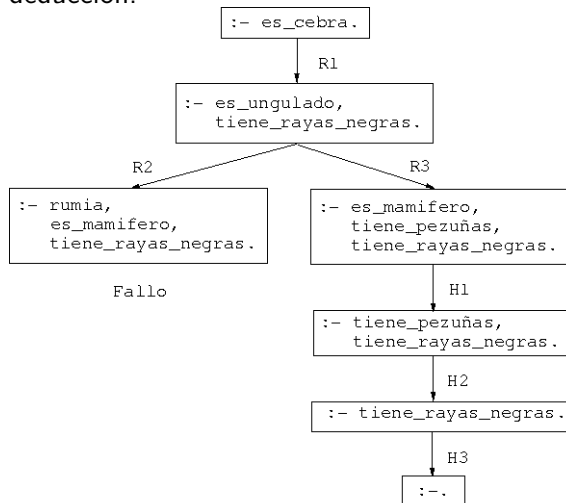
```
es_cebra      :- es_ungulado, tiene_rayas_negras. %R1
es_ungulado   :- rumia, es_mamífero.             %R2
es_ungulado   :- es_mamífero, tiene_pezuñas.      %R3
es_mamífero.                                     %H1
tiene_pezuñas.                                   %H2
tiene_rayas_negras.                               %H3
```

► Sesión:

```
> pl
Welcome to SWI-Prolog (Multi-threaded, Version 5.6.20)
Copyright (c) 1990-2006 University of Amsterdam.
?- [animales].
Yes
?- es_cebra.
```

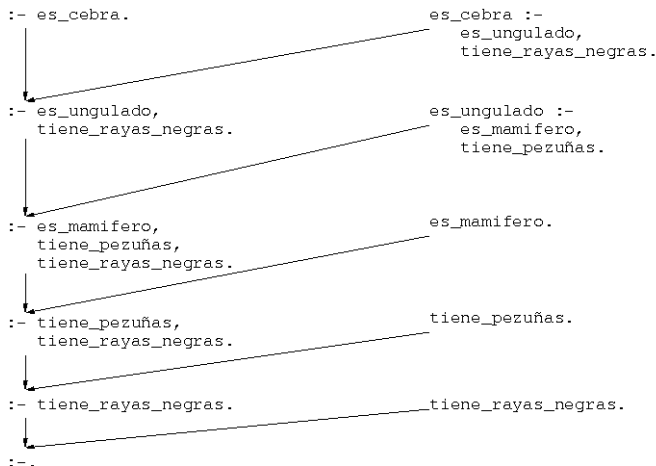
Deducción Prolog en lógica proposicional

► Árbol de deducción:



Deducción Prolog en lógica proposicional

► Demostración por resolución SLD:



Deducción Prolog en lógica relacional

- ▶ Base de conocimiento:
 - ▶ Hechos 1-4: 6 y 12 son divisibles por 2 y por 3.
 - ▶ Hecho 5: 4 es divisible por 2.
 - ▶ Regla 1: Los números divisibles por 2 y por 3 son divisibles por 6.
- ▶ Programa:

```
divide(2,6).                % Hecho 1
divide(2,4).                % Hecho 2
divide(2,12).               % Hecho 3
divide(3,6).                % Hecho 4
divide(3,12).               % Hecho 5
divide(6,X) :- divide(2,X), divide(3,X). % Regla 1
```

Deducción Prolog en lógica relacional

- ▶ Símbolos:
 - ▶ Constantes: 2, 3, 4, 6, 12
 - ▶ Relación binaria: `divide`
 - ▶ Variable: `X`
- ▶ Interpretaciones de la Regla 1:
 - ▶ `divide(6,X) :- divide(2,X), divide(3,X).`
 - ▶ Interpretación declarativa:
 $(\forall X)[\text{divide}(2, X) \wedge \text{divide}(3, X) \rightarrow \text{divide}(6, X)]$
 - ▶ Interpretación procedimental.
- ▶ Consulta: ¿Cuáles son los múltiplos de 6?

```
?- divide(6,X).
```

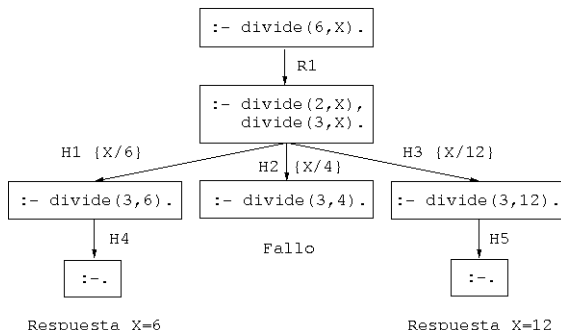
```
X = 6 ;
```

```
X = 12 ;
```

```
No
```

Deducción Prolog en lógica relacional

► Árbol de deducción:



► Comentarios:

- Unificación.
- Cálculo de respuestas.
- Respuestas múltiples.

Deducción Prolog en lógica funcional

- Representación de los números naturales:

$0, s(0), s(s(0)), \dots$

- Definición de la suma:

$0 + Y = Y$

$s(X) + Y = s(X+Y)$

- Programa

`suma(0,Y,Y) .` % R1

`suma(s(X),Y,s(Z)) :- suma(X,Y,Z) .` % R2

- Consulta: ¿Cuál es la suma de $s(0)$ y $s(s(0))$?

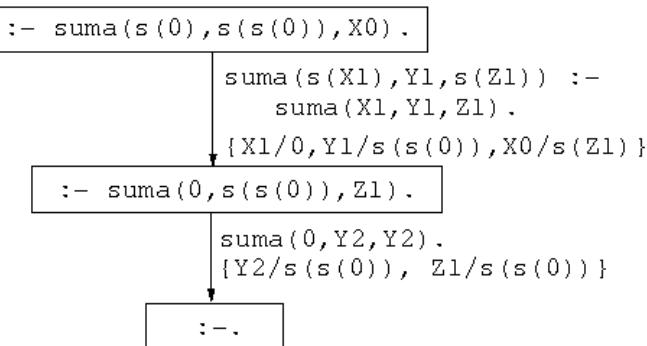
`?- suma(s(0),s(s(0)),X) .`

`X = s(s(s(0)))`

`Yes`

Deducción Prolog en lógica funcional

► Árbol de deducción:



Resp.: $X = X0 = s(Z1) = s(s(s(0)))$

Deducción Prolog en lógica funcional

► Consulta:

► ¿Cuál es la resta de $s(s(s(0)))$ y $s(s(0))$?

► Sesión:

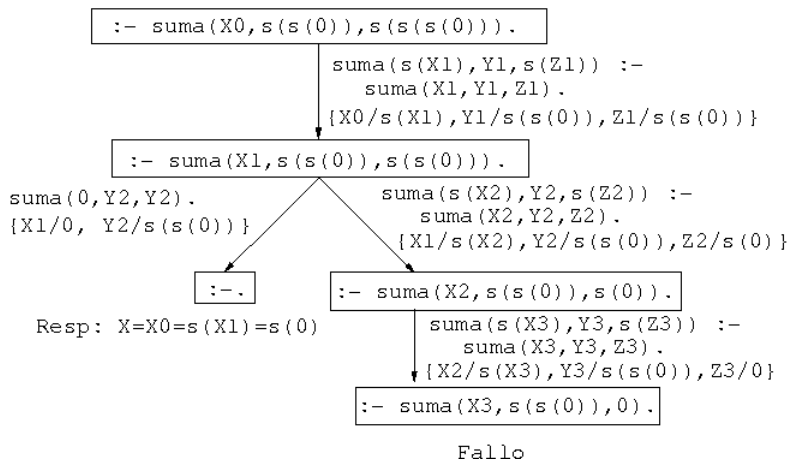
| ?- suma(X, s(s(0)), s(s(s(0)))).

| X = s(0) ;

| No

Deducción Prolog en lógica funcional

► Árbol de deducción:



Deducción Prolog en lógica funcional

► Consulta:

- Pregunta: ¿Cuáles son las soluciones de la ecuación

$$X + Y = s(s(0))?$$

- Sesión:

?- suma(X,Y,s(s(0))).

X = 0 Y = s(s(0)) ;

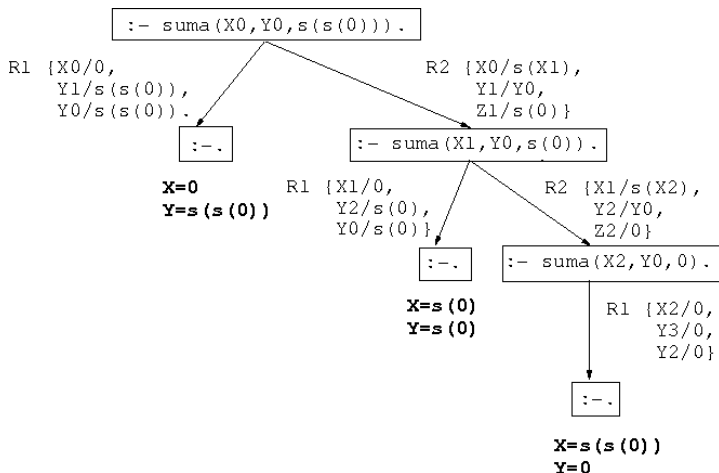
X = s(0) Y = s(0) ;

X = s(s(0)) Y = 0 ;

No

Deducción Prolog en lógica funcional

► Árbol de deducción:



Deducción Prolog en lógica funcional

► Consulta:

- Pregunta: resolver el sistema de ecuaciones

$$1 + X = Y$$

$$X + Y = 1$$

- Sesión:

| ?- suma(s(0),X,Y), suma(X,Y,s(0)).

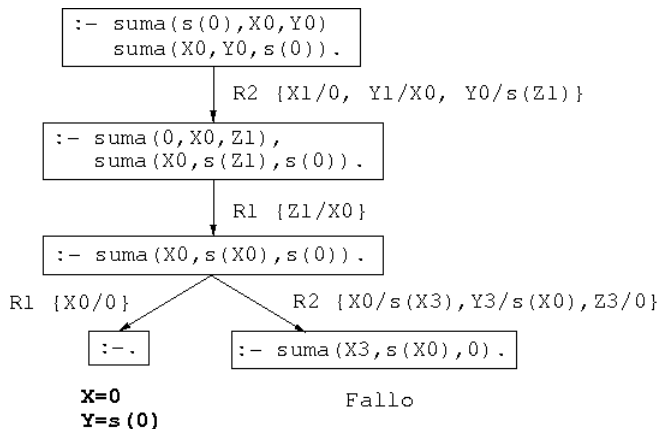
| X = 0

| Y = s(0) ;

| No

Deducción Prolog en lógica funcional

► Árbol de deducción:



Tema 12: Introducción a la programación lógica con Prolog

1. El sistema deductivo de Prolog
2. Las listas en Prolog
 - Definición de relaciones sobre listas
3. Operadores en Prolog
4. Control mediante corte
5. Negación como fallo

Representación de listas

```
?- [X|Y] = [a,b] .
```

```
X = a
```

```
Y = [b]
```

```
?- [X|Y] = [a,b,c,d] .
```

```
X = a
```

```
Y = [b, c, d]
```

```
?- [X,Y|Z] = [a,b,c,d] .
```

```
X = a
```

```
Y = b
```

```
Z = [c, d]
```

Definición de concatenación (append)

- *Especificación:* `conc(A,B,C)` se verifica si `C` es la lista obtenida escribiendo los elementos de la lista `B` a continuación de los elementos de la lista `A`. Por ejemplo,

```
?- conc([a,b],[b,d],C).
C=[a,b,b,d]
```

- *Definición 1:*

```
conc(A,B,C) :- A=[], C=B.
```

```
conc(A,B,C) :- A=[X|D], conc(D,B,E), C=[X|E].
```

- *Definición 2:*

```
conc([],B,B).
```

```
conc([X|D],B,[X|E]) :- conc(D,B,E).
```

Consultas con la relación de concatenación

- ▶ Analogía entre la definición de `conc` y la de suma,
- ▶ ¿Cuál es el resultado de concatenar las listas `[a,b]` y `[c,d,e]`?

```
?- conc([a,b],[c,d,e],L).
```

```
L = [a, b, c, d, e]
```

- ▶ ¿Qué lista hay que añadirle a la lista `[a,b]` para obtener `[a,b,c,d]`?

```
?- conc([a,b],L,[a,b,c,d]).
```

```
L = [c, d]
```

- ▶ ¿Qué dos listas hay que concatenar para obtener `[a,b]`?

```
?- conc(L,M,[a,b]).
```

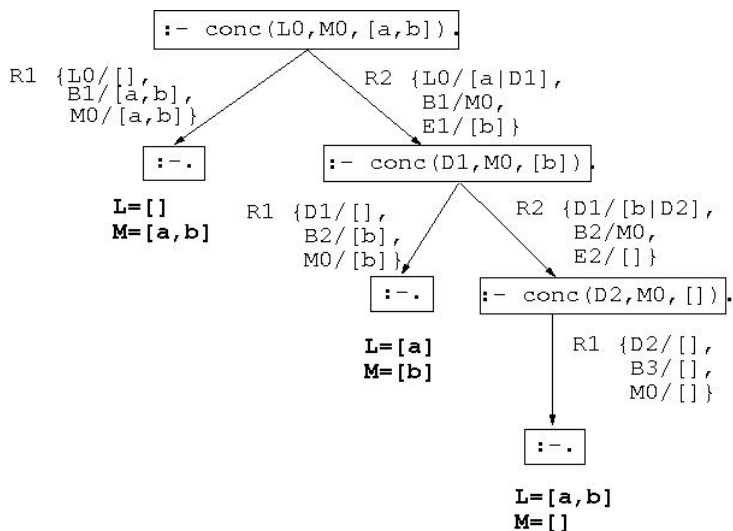
```
L = []           M = [a, b] ;
```

```
L = [a]          M = [b] ;
```

```
L = [a, b]       M = [] ;
```

```
No
```

Árbol de deducción de `?- conc(L,M,[a,b]).`



Definición de la relación de pertenencia (member)

- *Especificación:* pertenece(X,L) se verifica si X es un elemento de la lista L.
- *Definición 1:*

```
pertenece(X, [X|L]).  
pertenece(X, [Y|L]) :- pertenece(X,L).
```

- *Definición 2:*

```
pertenece(X, [X|_]).  
pertenece(X, [_|L]) :- pertenece(X,L).
```

Consultas con la relación de pertenencia

```
?- pertenece(b,[a,b,c]).
```

```
Yes
```

```
?- pertenece(d,[a,b,c]).
```

```
No
```

```
?- pertenece(X,[a,b,a]).
```

```
X = a ;
```

```
X = b ;
```

```
X = a ;
```

```
No
```

```
?- pertenece(a,L).
```

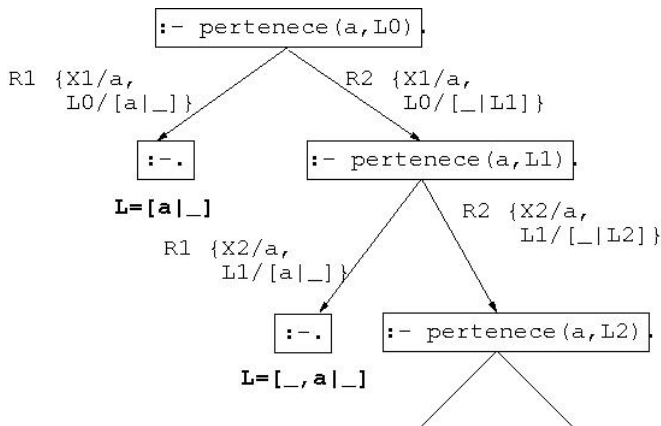
```
L = [a|_G233] ;
```

```
L = [_G232, a|_G236] ;
```

```
L = [_G232, _G235, a|_G239]
```

```
Yes
```

Árbol de deducción de `?- pertenece(a,L).`



Tema 12: Introducción a la programación lógica con Prolog

1. El sistema deductivo de Prolog
2. Las listas en Prolog
3. Operadores en Prolog
4. Control mediante corte
5. Negación como fallo

Ejemplos de operadores aritméticos

- Ejemplos de notación infija y prefija en expresiones aritméticas:

```
?- +(X,Y) = a+b.
```

```
X = a
```

```
Y = b
```

```
?- +(X,Y) = a+b+c.
```

```
X = a+b
```

```
Y = c
```

```
?- +(X,Y) = a+(b+c).
```

```
X = a
```

```
Y = b+c
```

```
?- a+b+c = (a+b)+c.
```

```
Yes
```

```
?- a+b+c = a+(b+c).
```

```
No
```

Ejemplos de asociatividad y precedencia

► Ejemplos de asociatividad:

| ?- $X^Y = a^{b^c}$.

| $X = a$ $Y = b^c$

| ?- $a^{b^c} = a^{(b^c)}$.

| Yes

► Ejemplo de precedencia

| ?- $X+Y = a+b*c$.

| $X = a$ $Y = b*c$

| ?- $X*Y = a+b*c$.

| No

| ?- $X*Y = (a+b)*c$.

| $X = a+b$ $Y = c$

| ?- $a+b*c = (a+b)*c$.

| No

Definición de operadores

- Definición (ejemplo_operadores.pl)

```
:-op(800,xfx,estudian).  
:-op(400,xfx,y).
```

```
juan y ana estudian lógica.
```

- Consultas

```
?- [ejemplo_operadores].  
?- Quienes estudian lógica.  
Quienes = juan y ana  
?- juan y Otro estudian Algo.  
Otro = ana  
Algo = lógica
```

Tema 12: Introducción a la programación lógica con Prolog

1. El sistema deductivo de Prolog
2. Las listas en Prolog
3. Operadores en Prolog
4. Control mediante corte
5. Negación como fallo

Ejemplo de nota sin corte

- `nota(X,Y)` se verifica si Y es la calificación correspondiente a la nota X; es decir, Y es suspenso si X es menor que 5, Y es aprobado si X es mayor o igual que 5 pero menor que 7, Y es notable si X es mayor que 7 pero menor que 9 e Y es sobresaliente si X es mayor que 9. Por ejemplo,

```
?- nota(6,Y).
```

```
Y = aprobado;
```

```
No
```

```
nota(X,suspenso)      :- X < 5.
```

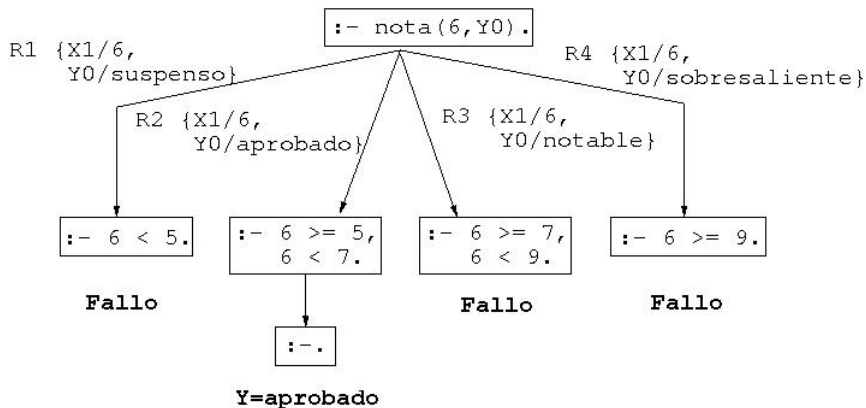
```
nota(X,aprobado)      :- X >= 5, X < 7.
```

```
nota(X,notable)       :- X >= 7, X < 9.
```

```
nota(X,sobresaliente) :- X >= 9.
```

Deducción en el ejemplo sin corte

- Árbol de deducción de `?- nota(6,Y).`

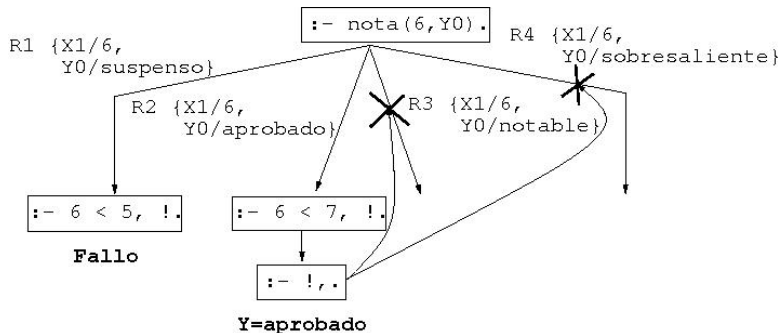


Ejemplo de nota con cortes

► Definición de nota con cortes

```
nota(X,suspenso)      :- X < 5, !.  
nota(X,aprobado)     :- X < 7, !.  
nota(X,notable)      :- X < 9, !.  
nota(X,sobresaliente).
```

Deducción en el ejemplo con cortes



- ¿Un 6 es un sobresaliente?

```
?- nota(6,sobresaliente).
```

```
Yes
```

Tema 12: Introducción a la programación lógica con Prolog

1. El sistema deductivo de Prolog
2. Las listas en Prolog
3. Operadores en Prolog
4. Control mediante corte
5. Negación como fallo

Definición de la negación como fallo

- Definición de la negación como fallo `not`:

```
no(P) :- P, !, fail.           % No 1
no(P).                         % No 2
```

Programa con negación

► Programa:

```
aprobado(X) :-                                % R1
    no(suspenso(X)),
    matriculado(X).
matriculado(juan).                            % R2
matriculado(luis).                            % R3
suspenso(juan).                               % R4
```

► Consultas:

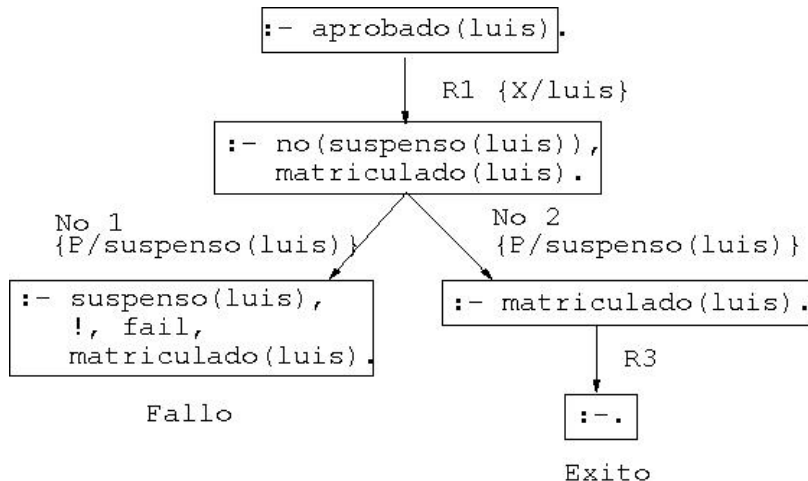
```
| ?- aprobado(luis).
```

```
| Yes
```

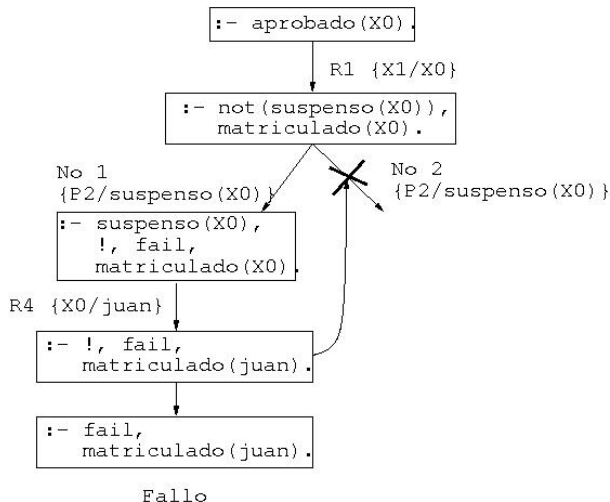
```
| ?- aprobado(X).
```

```
| No
```

Árbol de deducción de `?- aprobado(luis).`



Árbol de deducción de `?- aprobado(X)`.



Modificación del orden de los literales

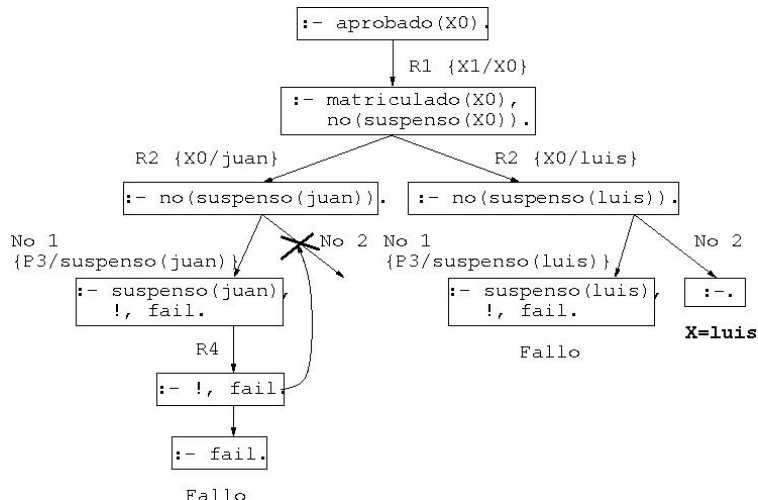
► Programa:

```
aprobado(X) :-                % R1
    matriculado(X),
    no(suspenso(X)).
matriculado(juan).            % R2
matriculado(luis).            % R3
suspenso(juan).                % R4
```

► Consulta:

```
?- aprobado(X).
X = luis
Yes
```

Árbol de deducción de `?- aprobado(X)`.



Bibliografía

1. J.A. Alonso (2006) *Introducción a la programación lógica con Prolog*.
Cap. 0 (Introducción).
2. I. Bratko (1990) *Prolog Programming for Artificial Intelligence (2nd ed.)*
Cap. 1 (An overview of Prolog) y Cap. 2 (Syntax and meaning of Prolog programs).