

Programación lógica

Paradigmas de la Programación
FaMAF-UNC 2021
capítulo 15 Mitchell
basado en filminas de Vitaly Shmatikov

algunas referencias

- <http://www.learnprolognow.org/>
- <http://cs.famaf.unc.edu.ar/wiki/doku.php?id=introalg:taller09>
- <http://www.swi-prolog.org/>

programación lógica

- la primitiva básica en los lenguajes vistos hasta ahora es la función (método, procedimiento)

$F(x) = y$ – la función F toma x y devuelve y

- en programación lógica, la primitiva básica es la **relación** (predicado)

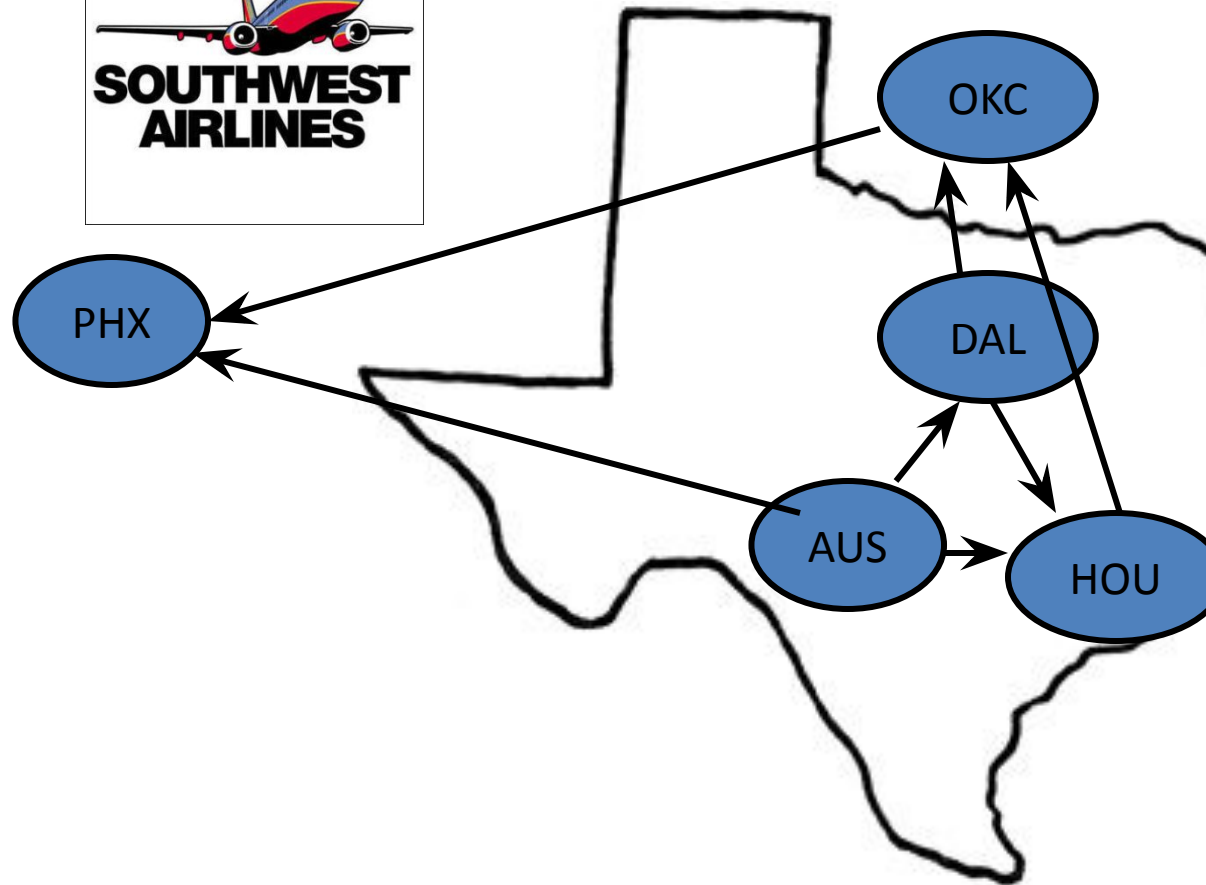
$R(x, y)$ – se da la relación R entre x e y

Prolog



- Acrónimo de **P**rogrammation en **l**ogic
 - Alain Colmerauer (1972)
- idea básica: el programa declara los objetivos de la computación, no la forma de obtenerlos
- aplicaciones en IA, bases de datos
 - originalmente desarrollado para procesamiento del lenguaje natural
 - razonamiento automático, probadores de teoremas
 - búsquedas en bases de datos
 - sistemas expertos

ejemplo: base de datos lógica



en Prolog:

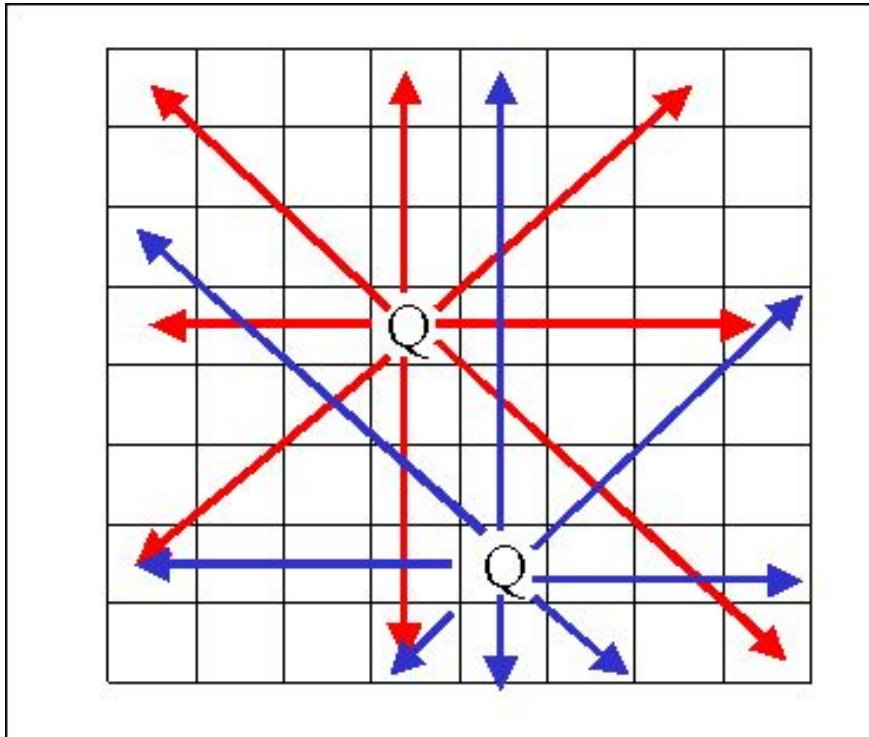
```
nonstop(aus, dal).  
nonstop(aus, hou).  
nonstop(aus, phx).  
nonstop(dal, okc).  
nonstop(dal, hou).  
nonstop(hou, okc).  
nonstop(okc, phx).
```

consultas a una base de datos lógica

- a dónde podemos volar desde Austin?
- SQL
 - `SELECT dest FROM nonstop WHERE source="aus";`
- Prolog
 - `?- nonstop(aus, X).`
 - más poderoso que SQL porque se puede usar recursión

problema de N-Reinas

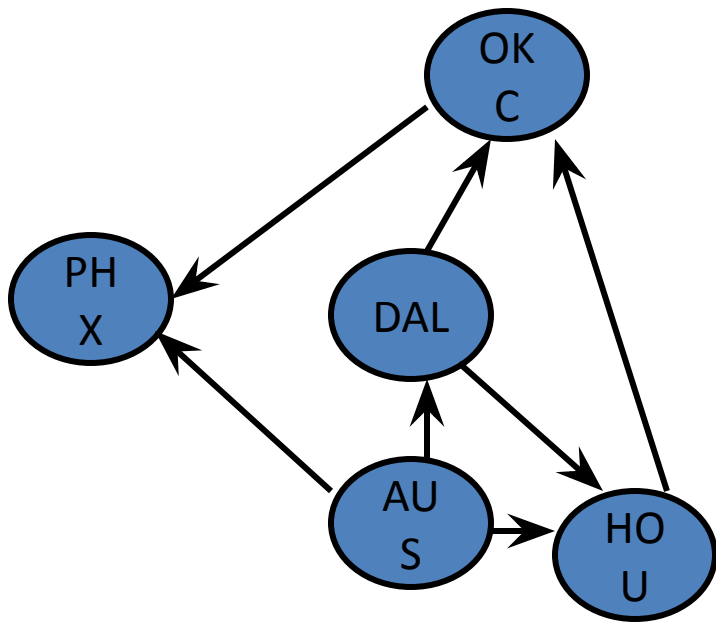
ubicar N reinas que no se estén atacando en un tablero de ajedrez (problema de búsqueda)



N-Reinas en Prolog

```
diagsegura(_, _, []).
diagsegura(Columna, ColDist, [QR|QRs]) :-
    ColumnaHit1 is Columna + ColDist, QR \= ColumnaHit1,
    ColumnaHit2 is Columna - ColDist, QR \= ColumnaHit2,
    ColDist1 is ColDist + 1,
    diagsegura(Columna, ColDist1, QRs).
posicion_segura([_]).
posicion_segura([QR|QRs]) :-
    diagsegura(QR, 1, QRs),
    posicion_segura(QRs).
nreinas(N, Y) :-
    sequence(N, X), permute(X, Y), posicion_segura(Y).
```


planificación de vuelos



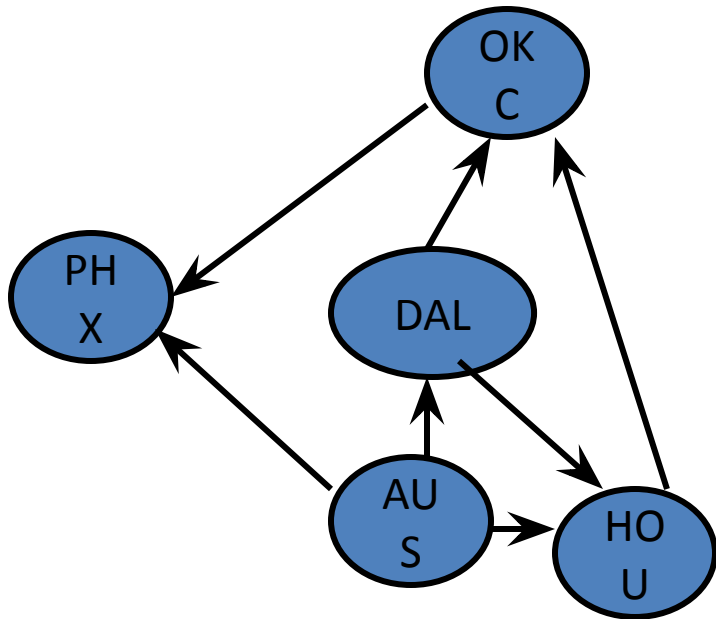
```
nonstop(aus, dal).
nonstop(aus, hou).
nonstop(aus, phx).
nonstop(dal, okc).
nonstop(dal, hou).
nonstop(hou, okc).
nonstop(okc, phx).
```

cada línea es una cláusula y representa un hecho conocido (verdades axiomáticas)

un hecho es cierto si y sólo si lo podemos probar usando alguna cláusula

Relación: `nonstop(X, Y)` – hay un vuelo desde X hasta Y

consultas



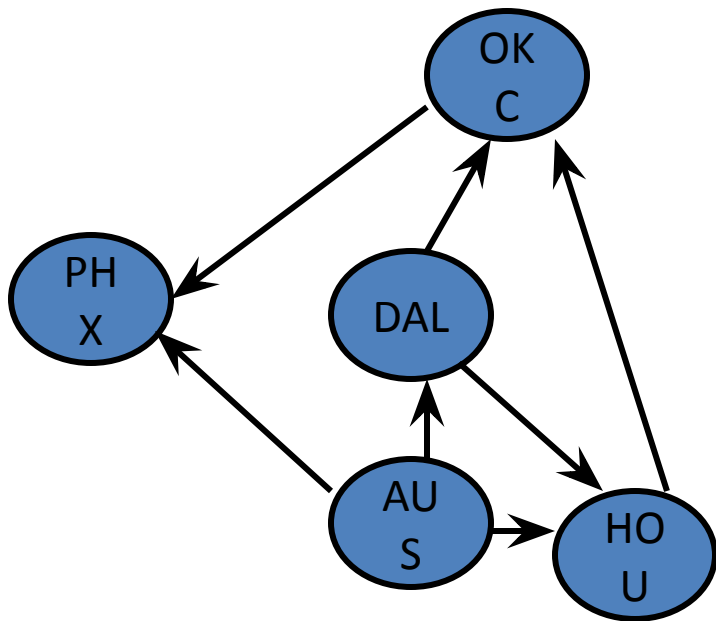
?- nonstop(aus, dal).

?- nonstop(dal, okc).

?- nonstop(aus, okc).

?-

consultas



?- nonstop(aus, dal).

Yes

?- nonstop(dal, okc).

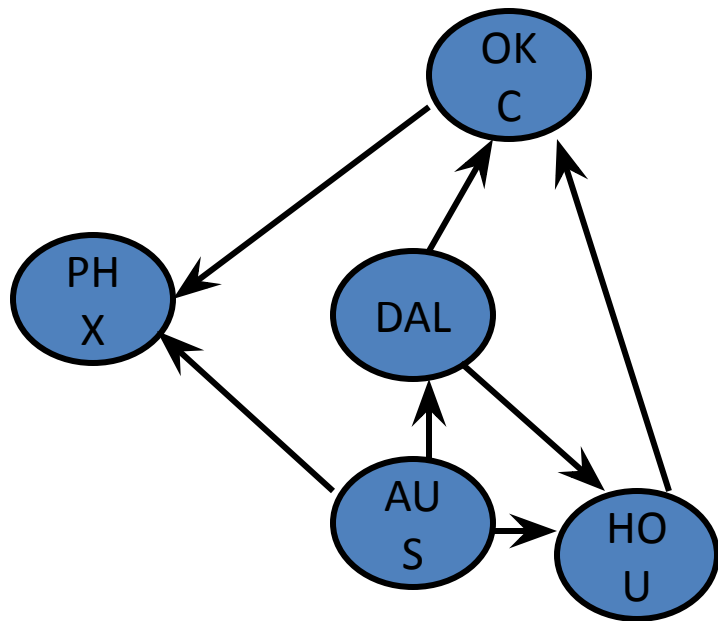
Yes

?- nonstop(aus, okc).

No

?-

variables lógicas



hay algún X tal que
nonstop(okc, X)?

?- nonstop(okc, X).

X=phx ;

No

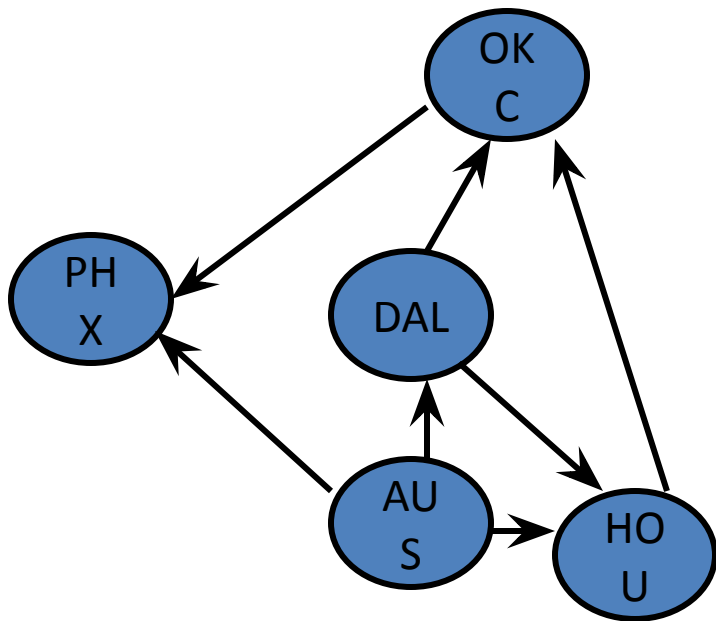
?- nonstop(Y, dal).

Y=aus ;

No

?-

no-determinismo



?- nonstop(dal, X).

X=hou ;

X=okc ;

No

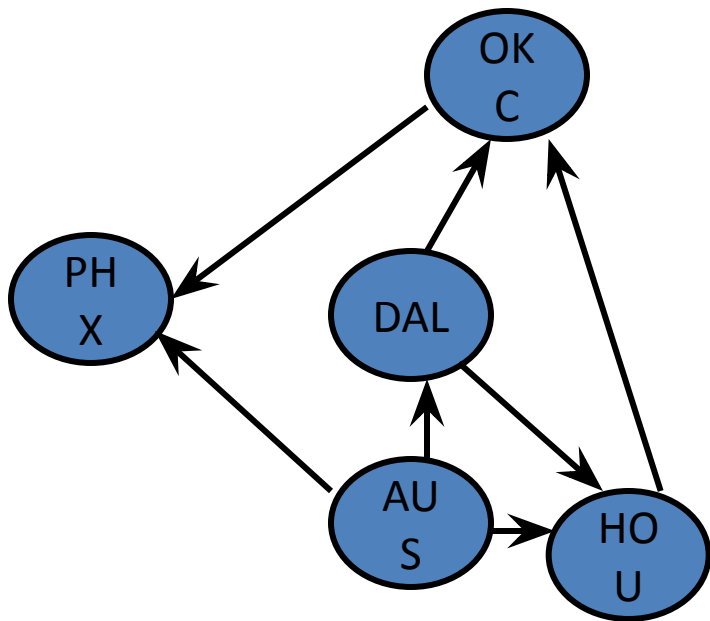
?- nonstop(phx, X).

No

?-

los predicados pueden devolver múltiples respuestas o ninguna

conjunción lógica



?- nonstop(aus, X), nonstop(X, okc).
X=dal ;
X=hou ;
No
?-

combinar condiciones múltiples en una sola consulta

predicados derivados

se pueden definir nuevos predicados con reglas:

`conclusión :- premisas.`

la conclusión es cierta si las premisas son ciertas

```
volar_via(Desde, Hacia, Via) :-  
    nonstop(Desde, Via),  
    nonstop(Via, Hacia).
```

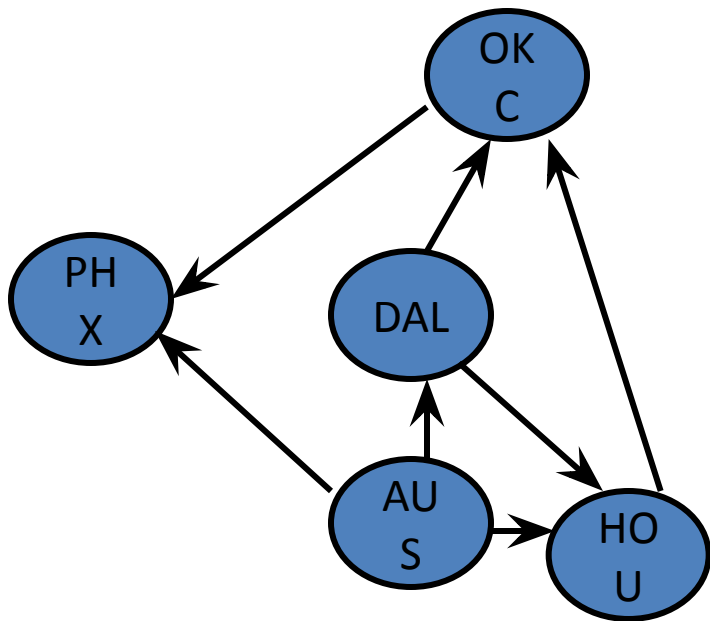
```
?- volar_via(aus, okc, Via).
```

```
Via=dal ;
```

```
Via=hou ;
```

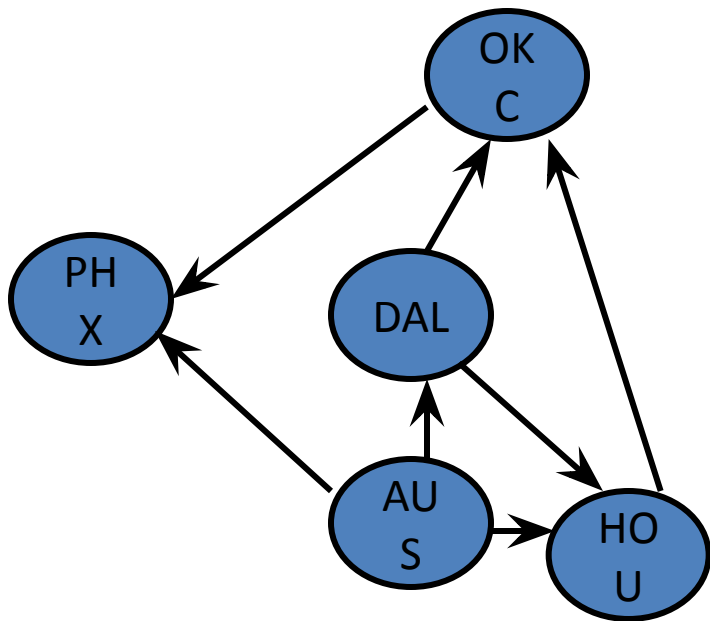
```
No
```

```
?-
```



recursión

los predicados se pueden definir recursivamente



```
llegar(X, X) .
```

```
llegar(X,Z) :-
```

```
    nonstop(X, Y), llegar(Y, Z) .
```

```
?- llegar(X, phx).
```

```
X=aus ;
```

```
X=dal ;
```

```
...
```

```
?-
```


elementos de un programa Prolog

- los programas en Prolog tienen términos
 - variables, constantes, estructuras
- las variables empiezan en mayúscula

Harry

- las constantes son enteros o átomos

24, zebra, 'Bob', '.'

- las estructuras son predicados con argumentos

n(zebra), habla(Y, Castellano)

cláusulas de Horn

- una cláusula de Horn tiene una cabeza h que es un predicado y un cuerpo, que es una lista de predicados p_1, p_2, \dots, p_n
 - se escribe $h \leftarrow p_1, p_2, \dots, p_n$
 - significa, “ h es cierto si p_1, p_2, \dots , y p_n son ciertos simultáneamente”

ejemplo:

$\text{nieva}(C) \leftarrow \text{precipitación}(C), \text{hiela}(C)$

“nieva en la ciudad C si hay precipitación en C y hiela en C ”

hechos, reglas y programas

- un hecho en Prolog es una cláusula de Horn sin parte derecha (o con parte derecha true)

`magoo (Harry) .`

- una regla Prolog es una cláusula de Horn con una parte derecha (`:-` es \leftarrow)

`term :- term1, term2, ... termn.`

– la parte izquierda se llama *cabeza*

- un programa Prolog es un conjunto de hechos y reglas

cláusulas de Horn y predicados

- cualquier cláusula de Horn $h \leftarrow p_1, p_2, \dots, p_n$ se puede escribir como un predicado $p_1 \wedge p_2 \wedge \dots \wedge p_n \supset h$, o, de forma equivalente $\neg(p_1 \wedge p_2 \wedge \dots \wedge p_n) \vee h$
- no todo predicado se puede escribir como una cláusula de Horn
 - ejemplo: $\text{literato}(x) \supset \text{lee}(x) \vee \text{escribe}(x)$

listas

- una lista es una serie de términos separados por comas y entre corchetes
 - lista vacía: `[]`
 - elemento sin restricciones de `_`: `[_, x, y]`
 - también se puede escribir `[Cabeza | Cola]`

añadir a una lista

```
append([], X, X).
```

```
append([Head | Tail], Y, [Head | Z]) :-  
    append(Tail, Y, Z).
```

el último parámetro va a contener el resultado de la función, pasamos como argumento la variable que va a contener el resultado

- esta definición dice:
 - añadir **X** a la lista vacía devuelve **X**
 - si añadimos **Y** a **Tail** para obtener **Z**, entonces **Y** se puede añadir a una lista un elemento más larga **[Head | Tail]** para obtener **[Head | Z]**

estar en una lista (*existe*)

`member(X, [X | _]) .`

`member(X, [_ | Y]) :- member(X, Y) .`

- el predicado de la cabeza será cierto si:
 - `X` es la cabeza de la lista `[X | _]`
 - `X` no es la cabeza de la lista `[_ | Y]` , pero es un miembro de la cola `Y`
- se comprueba con *pattern matching*
- los elementos “sin restricciones” se marcan con `_`, y muestran elementos que no son importantes para la regla

más funciones sobre listas

- X es un prefijo de Z si hay una lista Y que se puede añadir a X para hacer Z
 - `prefix(X, Z) :- append(X, Y, Z) .`
 - `suffix(Y, Z) :- append(X, Y, Z) .`
- encontrar todos los prefijos (o sufijos) de una lista:
 - `?- prefix(X, [my, dog, has, fleas]) .`
 - `X = [] ;`
 - `X = [my] ;`
 - `X = [my, dog] ;`
 - `...`

contestar consultas Prolog

- la computación en Prolog (contestar una consulta) es esencialmente buscar una prueba lógica
- dirigido por el objetivo, por backtracking, búsqueda en profundidad (vs. en anchura), con estrategia:
si h es la cabeza de una cláusula de Horn

$h \leftarrow \text{términos}$

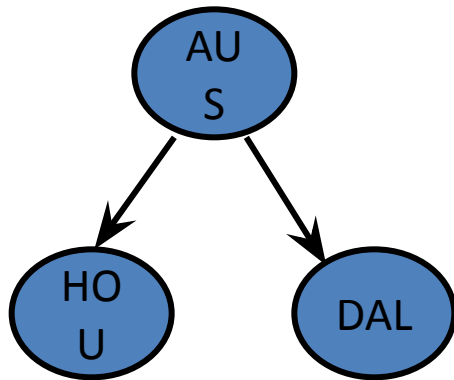
y hace pattern matching con uno de los términos de otra cláusula de Horn

$t \leftarrow t1, h, t2$

entonces ese término se puede reemplazar por los términos de h :

$t \leftarrow t1, \text{términos}, t2$

ejemplo con planificación de vuelos



?- n(aus, hou).

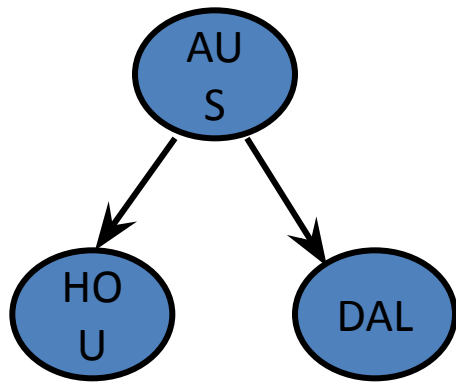
?- n(aus, dal).

?- r(X, X).

?- r(X, Z) :- n(X, Y), r(Y, Z).

?- r(aus, X)

planificación de vuelos: búsqueda de prueba

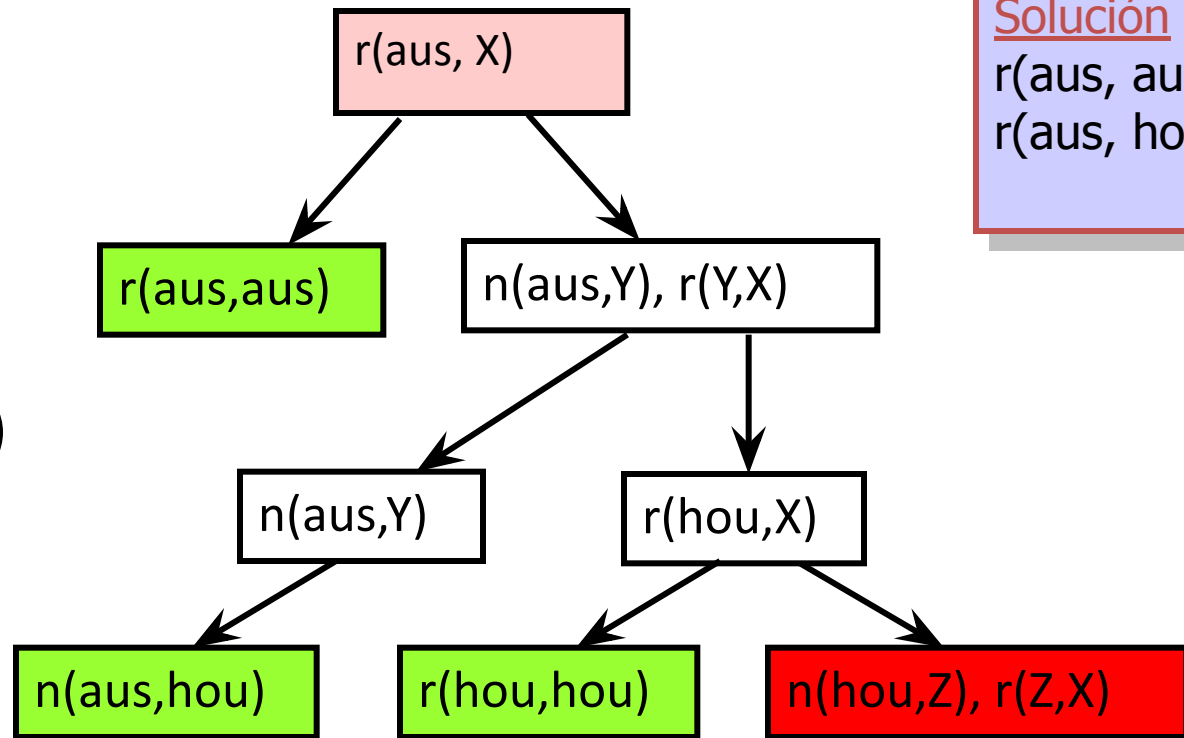


regla1:

→ $r(X, X).$

regla 2:

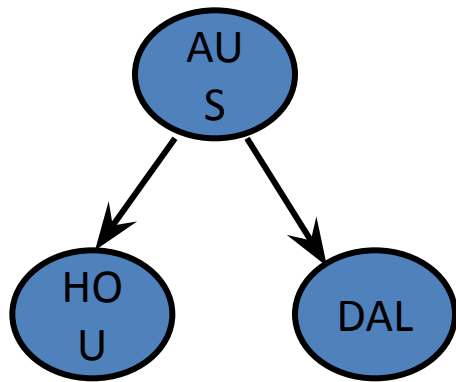
→ $r(X, Z) :- n(X, Y), r(Y, Z).$



Solución

$r(aus, aus)$
 $r(aus, hou)$

planificación de vuelos: búsqueda de prueba

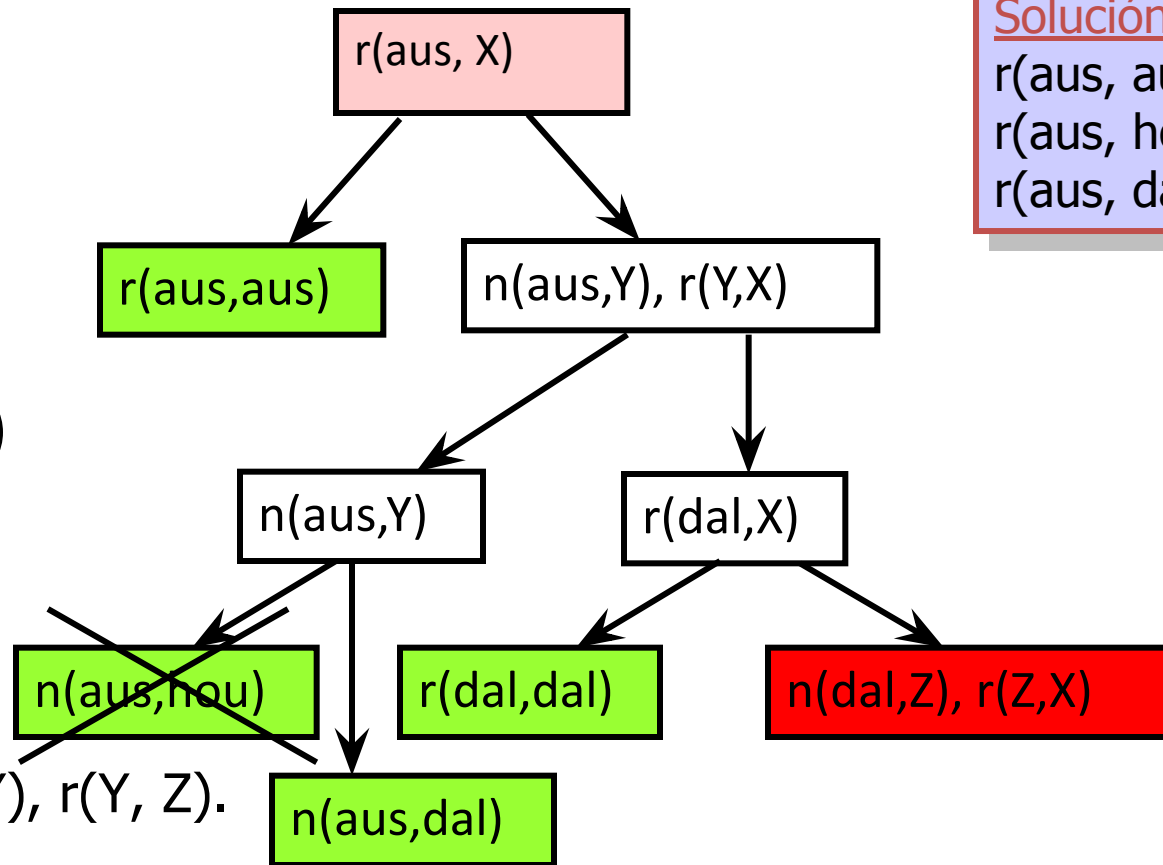


regla1:

→ $r(X, X).$

regla 2:

→ $r(X, Z) :- n(X, Y), r(Y, Z).$



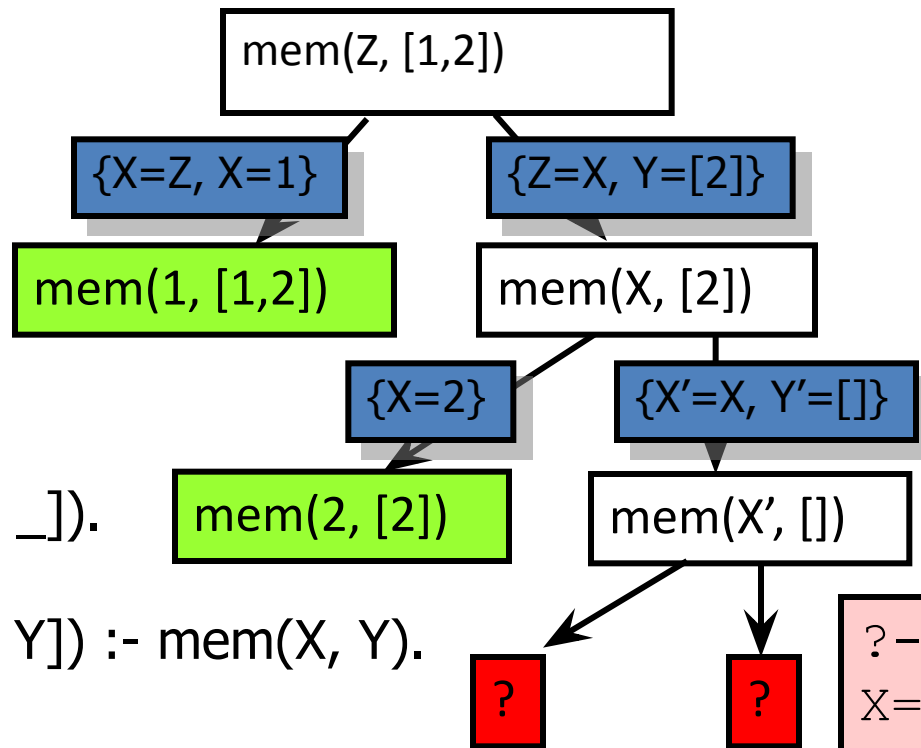
Solución

$r(aus, aus)$
 $r(aus, hou)$
 $r(aus, dal)$

unificación

- dos términos son unificables si hay una sustitución de variables que hace que puedan llegar a ser el mismo
 - por ejemplo, $f(X)$ y $f(3)$ se unifican con $[X=3]$
 - $f(f(Y))$ y $f(X)$ se unifican con $[X=f(Y)]$
 - y $g(X,Y)$ y $f(3)$?
- la asignación de valores a las variables durante la resolución se llama instanciación
- es un proceso de pattern-matching que determina qué instanciaciones se pueden hacer a las variables durante una serie de resoluciones

ejemplo: está en la lista



regla 1:

→ `mem(X, [X | _]).`

regla 2:

→ `mem(X, [_ | Y]) :- mem(X, Y).`

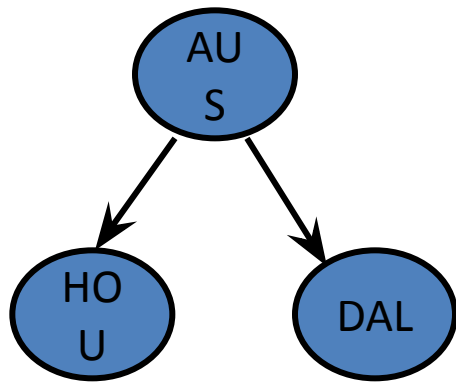
Prolog

```
?- mem(X, [1,2]).  
X=1 ;  
X=2 ;  
No  
?-
```

completitud

el procedimiento de búsqueda de Prolog devuelve cosas que son todas ciertas, pero no se puede probar todo lo que es cierto (es incompleto)

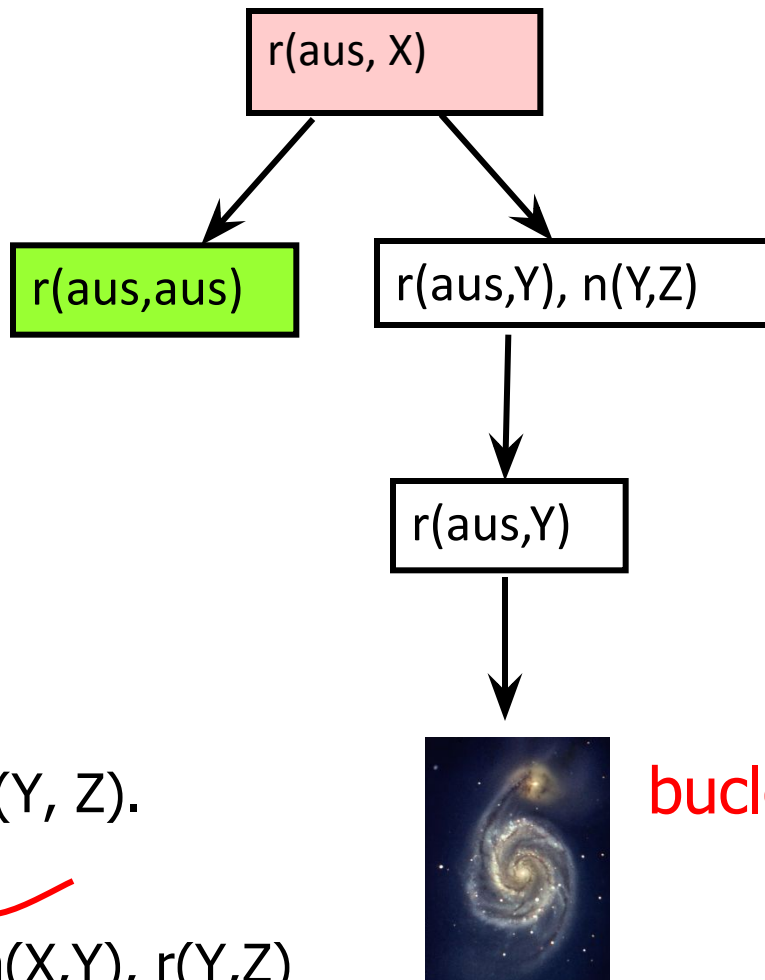
planificación de vuelos: un cambio



Rule 1:
 $r(X, X).$

Rule 2:
 $r(X, Z) :- r(X, Y), n(Y, Z).$

en lugar de $n(X, Y), r(Y, Z)$



bucle infinito

Solution
 $r(aus, aus)$

el operador "Is"

- **is** instancia una variable temporal, comparable a una variable local en lenguajes tipo Algol

ejemplo:

```
?- factorial(0, 1).
```

```
?- factorial(N, Result) :-
```

```
    N > 0,
```

```
    M is N - 1,
```

```
    factorial(M, SubRes),
```

```
    Result is N * SubRes.
```

traza

- la traza sirve para que el programador pueda ver cómo funciona una búsqueda de prueba

ejemplo

```
?- factorial(0, 1).
```

```
?- factorial(N, Result) :-
```

```
    N > 0, M is N - 1,
```

```
    factorial(M, SubRes), Result  
is N * SubRes.
```

```
?- trace(factorial/2).
```

- el argumento de "trace" incluye la aridad de la función

```
?- factorial(4, X).
```

traza de factorial

- `?- factorial(4, X).`
- `Call: (7) factorial(4, _G173)`
- `Call: (8) factorial(3, _L131)`
- `Call: (9) factorial(2, _L144)`
- `Call: (10) factorial(1, _L157)`
- `Call: (11) factorial(0, _L170)`
- `Exit: (11) factorial(0, 1)`
- `Exit: (10) factorial(1, 1)`
- `Exit: (9) factorial(2, 2)`
- `Exit: (8) factorial(3, 6)`
- `Exit: (7) factorial(4, 24)`
- `X = 24`

estas son
variables
temporales

estos son los
niveles en el
árbol de búsqueda

el cut

- cuando se inserta en la parte derecha de la regla, el operador cut ! fuerza a que no se revisiten los subobjetivos si la parte derecha encuentra un resultado una vez

- ejemplo:

`max (X, Y, Y) :- X =< Y.`

`max (X, Y, X) :- X > Y.`

devuelve
una sola
respuesta

el cut

- cuando se inserta en la parte derecha de la regla, el operador cut **!** fuerza a que no se revisiten los subobjetivos si la parte derecha encuentra un resultado una vez

- ejemplo:

devuelve
una sola
respuesta

`max (X, Y, Y) :- X =< Y.`

`max (X, Y, X) :- X>Y.`

`max (X, Y, Y) :- X =< Y, !.`

`max (X, Y, X) :- X>Y.`

cuts rojos vs. cuts verdes

`max(X, Y, Y) :- X =< Y.`

`max(X, Y, X) :- X>Y.`

`max(X, Y, Y) :- X =< Y, !.`

`max(X, Y, X) :- X>Y.`

`max(X, Y, Z) :- X =< Y, !, Y=Z.`

`max(X, Y, X) .`

Tracing Bubble Sort

- ?- bsort([5,2,3,1], Ans).
- Call: (7) bsort([5, 2, 3, 1], _G221)
- Call: (8) bsort([2, 5, 3, 1], _G221)
- ...
- Call: (12) bsort([1, 2, 3, 5], _G221)
- Redo: (12) bsort([1, 2, 3, 5], _G221)
- ...
- Exit: (7) bsort([5, 2, 3, 1], [1, 2, 3, 5])
- Ans = [1, 2, 3, 5] ;
- No

Without the cut, this
would have given some
wrong answers

negación

- el operador `not` se implementa como fallo del objetivo

```
not(G) :- G, !, fail
```

- “fail” es un objetivo especial que siempre falla

ejemplo

```
factorial(N, 1) :- N < 1.  
factorial(N, Result) :- not(N < 1), M is N - 1,  
                        factorial(M, P),  
                        Result is N * P.
```