Tema AR–8: Implementación de Prolog

José A. Alonso Jiménez
José L. Ruiz Reina

Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial

Universidad de Sevilla

Programa lógico y pregunta

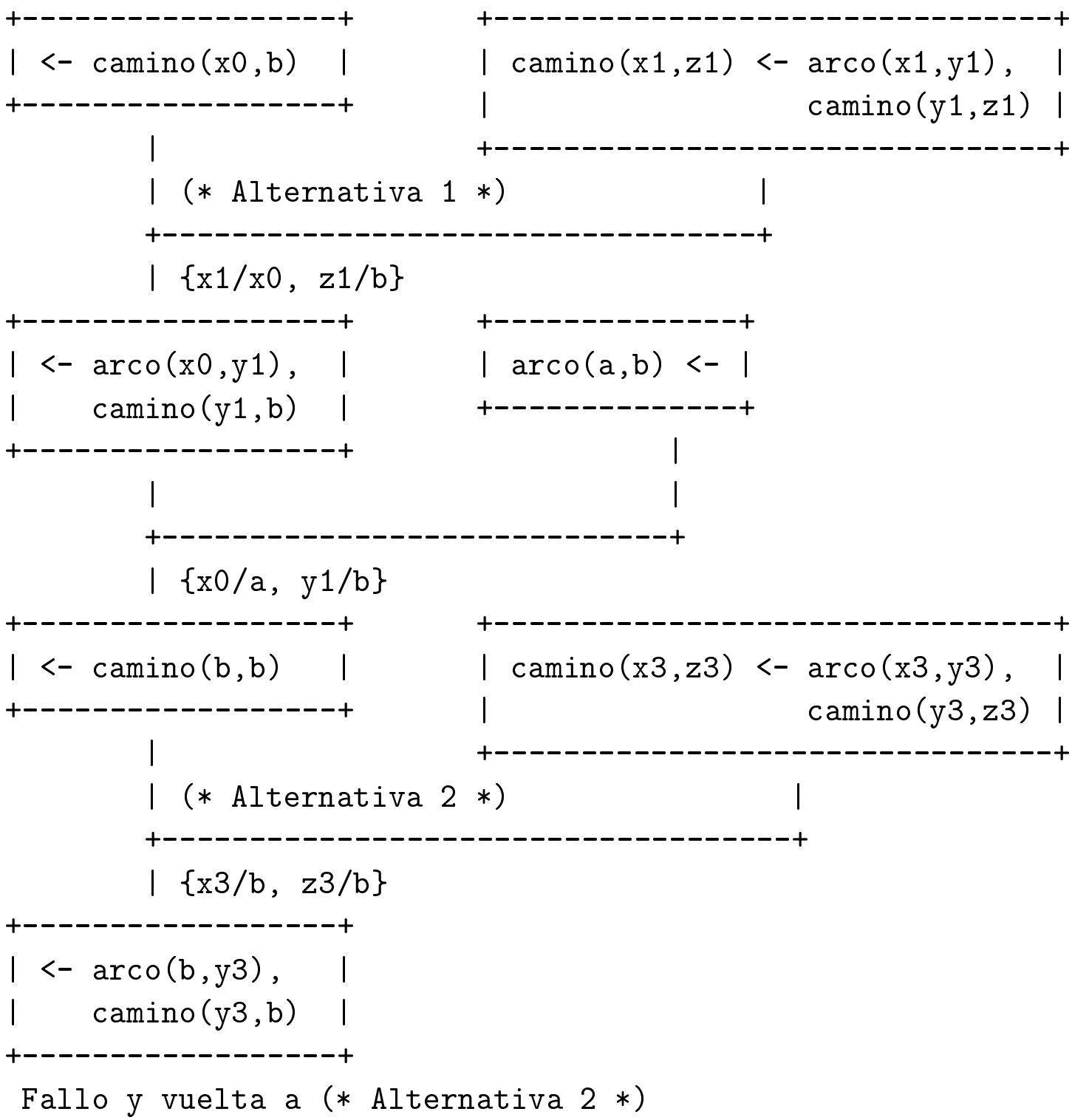
- **Ejemplo de programa lógico**

```
camino(x,z) <- arco(x,y), camino(y,z)
camino(x,x) <-
arco(a,b)   <-
```

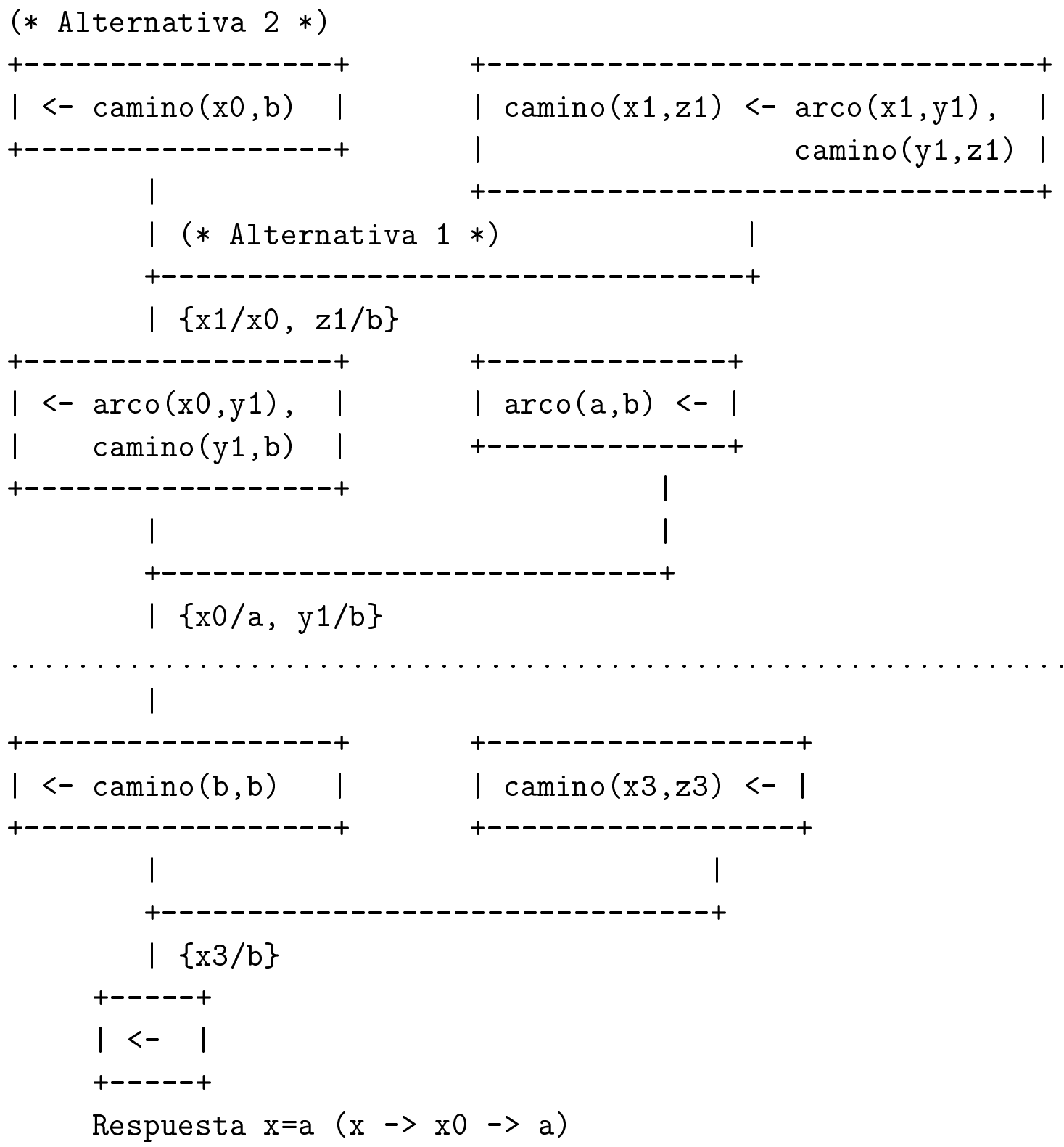
- **Ejemplo de pregunta**

```
<- camino(x,b)
```

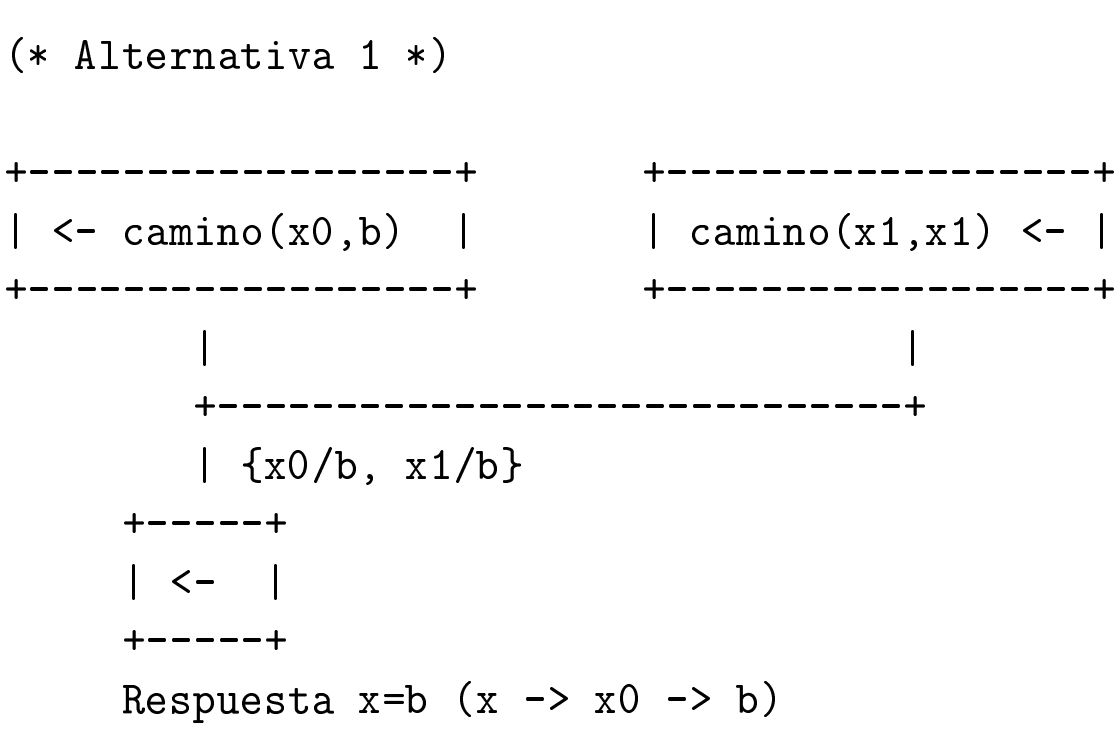
Computación de respuestas



Computación de respuestas



Computación de respuestas



Respuestas mediante entornos

- **Programa y pregunta**

```
p(x,z) <- q(x,y), p(y,z)
p(x,x) <-
q(a,b) <-

<- p(x,b)
```

- **Computación de respuestas mediante entornos**

```
[p(x,b)]0
E0 = {}
  |                              p(x,z) <- q(x,y), p(y,z)
  |                              (* Alternativa 1 *)
[q(x,y),p(y,z)]1, []0
E1 = E0 U {x0/x1, z1/b0}
  |                              q(a,b) <-
[]2, [p(y,z)]1, []0
E2 = E1 U {x1/a2, y1/b2}
  |
[p(y,z)]1, []0
  |                              p(x,z) <- q(x,y), p(y,z)
  |                              (* Alternativa 2 *)
[q(x,y),p(y,z)]3, []1, []0
E3 = E2 U {x3/b2, z3/b0}
  |
Fallo y vuelta a (* Alternativa 2 *)
```

Respuestas mediante entornos

```
(* Alternativa 2 *)

[p(x,b)]0
E0 = {}
  |                              p(x,z) <- q(x,y), p(y,z)
  |                              (* Alternativa 1 *)
[q(x,y),p(y,z)]1, []0
E1 = E0 U {x0/x1, z1/b0}
  |                              q(a,b) <-
[]2, [p(y,z)]1, []0
E2 = E1 U {x1/a2, y1/b2}
  |
[p(y,z)]1, []0
  |
.....................................................
  |                               p(x,x) <-
[]3, []1, []0
E3 = E2 U {x3/b2}
  |
[]1, []0
  |
[]0
  |
Respuesta x=a (x -> x0 -> x1 -> a2)
```

Respuestas mediante entornos

```
(* Alternativa 1 *)

[p(x,b)]0
E0 = {}
  |                                p(x,x) <-
[]1, []0
E1 = E0 U {x0/b0, x1/b0}
  |
[]0
  |
Respuesta x=b (x -> x0 -> b0)
```

Entornos

- $\omega = \{< n_i, x_i > / < m_i, t_i >: 1 \leq i \leq p\}$
- **Variables anotadas:** $< n_i, x_i >$
- **Términos anotados:** $< n_i, t_i >$
- **Números de nivel:** n_i
- **Nombre de variables:** x_i
- **Ligaduras:** $< n_i, x_i > / < m_i, t_i >$

Implementación de la resolución SLD

- **Representación de cláusulas de Horn**

```
Cláusula:       p(x,z) <- q(x,y), p(y,z)
Representación: ((p x z) (q x y) (p y z))
```

- **Representación de conjuntos de cláusulas de Horn**

```
p(x,z) <- q(x,y), p(y,z)
p(x,x) <-
q(a,b) <-

(setf *conjunto-de-clausulas*
      '(((p x z) (q x y) (p y z))
        ((p x x))
        ((q a b))))
```

- **Representación de listas de preguntas**

```
Pregunta:       <- p(a,x), q(x,b)
Representación: ( ((p a x) (q x b)) )

Cláusula:       ((p x z) (q x y) (p y z))
Resolvente:     ( ((q x y) (p y z)) ((q x b)) )
```

Implementación de la resolución SLD

- **Definición de variable**

```
(defun es-variable (expresion)
  (member expresion '(x y z u v w)))
```

- **Expresiones anotadas**

```
<término-anotado> ::= (<número-natural> <término>)

;;; (nombre '(1 (f x)))  =>  (F X)
(defun nombre (termino-anotado)
  (second termino-anotado))

;;; (es-variable-anotada '(3 y))  =>  (Y Z U V W)
;;; (es-variable-anotada '(3 a))  =>  NIL
(defun es-variable-anotada (termino-anotado)
  (es-variable (nombre termino-anotado)))

;;; (es-simbolo-anotado '(3 f))      =>  T
;;; (es-simbolo-anotado '(3 (f x)))  =>  NIL
(defun es-simbolo-anotado (termino-anotado)
  (atom (nombre termino-anotado)))

<lista-anotada> ::=
  (<número> <átomo>) |
  (<número> (<expresión-1> ... <expresión-n>))
```

Implementación de la resolución SLD

```
;;; (primera-expresion '(1 (f (g x) (h y))))
;;; => (1 F)
;;; (primera-expresion '(1 ((g x) (h y))))
;;; => (1 (G X))
;;; (primera-expresion '(1 ()))
;;; => (1 NIL)
(defun primera-expresion (lista-anotada)
  (list (first lista-anotada)
        (first (second lista-anotada))))

;;; (restantes-expresiones '(1 (f (g x) (h y))))
;;; => (1 ((G X) (H Y)))
;;; (restantes-expresiones '(1 ((g x) (h y))))
;;; => (1 ((H Y)))
;;; (restantes-expresiones '(1 ((h y))))
;;; => (1 NIL)
(defun restantes-expresiones (lista-anotada)
  (list (first lista-anotada)
        (rest (second lista-anotada))))
```

- **Objetivos**

```
;;; (primer-atomo '(((p a x) (q x b)) ((q y a))))
;;; => (P A X)
(defun primer-atomo (lista-objetivos)
  (first (first lista-objetivos)))

;;; (restantes-objetivos '(((p a x) (q x b)) ((q y a))))
;;; => (((Q X B)) ((Q Y A)))
(defun restantes-objetivos (lista-objetivos)
  (cons (rest (first lista-objetivos))
        (rest lista-objetivos)))
```

Implementación de la resolución SLD

- **Entornos**

```
Representación de entornos:
  {<n1,x1>/<m1,t1>,...,<np,xp>/<mp,tp>}
  (((n1 x1) . (m1 t1)) ... ((np xp) . (mp tp)))

;;; (termino-anotado '(0 x) '(((0 x) . (1 a)))) => (1 A)
(defun termino-anotado (variable-anotada entorno)
  (rest (assoc variable-anotada entorno :test #'equal)))

;;; (annade-ligadura '(1 x) '(2 b) '(((0 x) . (1 a))))
;;; => (((1 X) 2 B) ((0 X) 1 A))
;;; (annade-ligadura '(1 s) '(2 b) '(((0 x) . (1 a))))
;;; => (((0 X) 1 A))
(defun annade-ligadura (expresion-anotada
                        termino-anotado
                        entorno)
  (if (es-variable-anotada expresion-anotada)
      (acons expresion-anotada termino-anotado entorno)
      entorno))

;;; (es-soportada '(0 y) '(((1 x) 2 b) ((0 x) 1 a)))
;;; => NIL
;;; (es-soportada '(0 x) '(((1 x) 2 b) ((0 x) 1 a)))
;;; => (1 A)
(defun es-soportada (variable-anotada entorno)
  (termino-anotado variable-anotada entorno))
```

Implementación de la resolución SLD

```
;;; (valor () '(((1 x) 2 b) ((0 x) 1 a)))      =>  NIL
;;; (valor '(0 y) '(((1 x) 2 b) ((0 x) 1 a)))  =>  (0 Y)
;;; (valor '(0 x) '(((1 x) 2 b) ((0 x) 1 a)))  =>  (1 A)
;;; (valor '(0 x) '(((1 x) 2 b) ((0 x) 1 x)))  =>  (2 B)
;;; (valor '(0 b) '(((1 x) 2 b) ((0 x) 1 x)))  =>  (0 B)
(defun valor (variable-anotada entorno)
  (if (not (es-soportada variable-anotada entorno))
      variable-anotada
      (valor (termino-anotado variable-anotada entorno)
             entorno)))

;;; (aplica '(0 (f x)) '(((0 x) 1 a)))
;;; => (F A)
;;; (aplica '(0 (f x y)) '(((0 x) 1 a) ((0 y) 1 (s x))
;;;                        ((1 x) 1 b)))
;;; => (F A (S B))
;;; (aplica '(0 (f x z)) '(((0 x) 1 a) ((0 z) 1 (s y))))
;;; => (F A (S Y))
(defun aplica (expresion-anotada entorno)
  (cond
    ((es-variable-anotada expresion-anotada)
     (if (es-soportada expresion-anotada entorno)
         (aplica (valor expresion-anotada entorno) entorno
         (nombre expresion-anotada)))
    ((es-simbolo-anotado expresion-anotada)
     (nombre expresion-anotada))
    (t (cons (aplica
               (primera-expresion expresion-anotada)
               entorno)
             (aplica
               (restantes-expresiones expresion-anotada)
               entorno)))))
```

Implementación de la resolución SLD

- **Unificación**

```
;;; (unifica '(0 x) '(1 y) '(((0 x) 1 a) ((1 y) 1 a)))
;;; => (((0 X) 1 A) ((1 Y) 1 A))
;;; (unifica '(0 x) '(1 y) '(((0 z) 1 a) ((1 y) 1 a)))
;;; => ((0 X) 1 A) ((0 Z) 1 A) ((1 Y) 1 A))
;;; (unifica '(0 (P x b)) '(1 (P x z)) nil)
;;; => ((((1 Z) 0 B) ((0 X) 1 X))
;;; (unifica '(0 b) '(2 y) '(((0 z) 1 a) ((1 y) 1 a)))
;;; => (((2 Y) 0 B) ((0 Z) 1 A) ((1 Y) 1 A))
;;; (unifica '(1 (P x (f x) y)) '(1 (P (g b) w z)) ())
;;; => (((1 Y) 1 Z) ((1 W) 1 (F X)) ((1 X) 1 (G B)))
```

Implementación de la resolución SLD

```
(defun unifica (expresion-1 expresion-2 entorno)
  (let ((valor-1 (valor expresion-1 entorno))
        (valor-2 (valor expresion-2 entorno)))
    (cond ((equal valor-1 valor-2) entorno)
          ((es-variable-anotada valor-1)
           (annade-ligadura valor-1 valor-2 entorno))
          ((es-variable-anotada valor-2)
           (annade-ligadura valor-2 valor-1 entorno))
          ((or (es-simbolo-anotado valor-1)
               (es-simbolo-anotado valor-2))
           (if (eq (nombre valor-1) (nombre valor-2))
               entorno
               'FALLO))
          (t (let ((nuevo-entorno
                    (unifica (primera-expresion valor-1)
                             (primera-expresion valor-2)
                             entorno)))
               (if (eq nuevo-entorno 'FALLO)
                   'FALLO
                   (unifica (restantes-expresiones valor-1)
                            (restantes-expresiones valor-2)
                            nuevo-entorno)))))))
```

Implementación de la resolución SLD

- **Obtención de respuesta por resolución**
- **Ejemplo de programa**

```
P(x,z) <- Q(x,y),P(y,z)
P(x,x)
Q(a,b)
```

- **Sesión**

```
(setf *conjunto-de-clausulas*
      '(((P x z) (Q x y) (P y z))
        ((P x x))
        ((Q a b))))
> (prueba '((P x b) (P a a)))
(((4 X) 0 A)
 ((3 X) 2 B)
 ((1 Y) 2 B)
 ((1 X) 2 A)
 ((1 Z) 0 B)
 ((0 X) 1 X))
```

Implementación de la resolución SLD

• Traza de la prueba

```
(prueba '((P x b) (P a a))) =
= (resolucion '(((P x b) (P a a)))   ; objetivos
              '(0)                   ; lista-niveles
              1                      ; nivel
              nil) =                 ; entorno
= (resolucion '(((Q x y) (P y z)) ((P a a)))
              '(1 0)
              2
              '(((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(nil ((P y z)) ((P a a)))
              '(2 1 0)
              3
              '(((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(((P y z)) ((P a a)))
              '(1 0)
              3
              '(((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(((Q x y) (P y z)) nil ((P a a)))
              '(3 1 0)
              4
              '(((3 z) 0 b) ((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a)
                ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(nil nil ((P a a)))
              '(3 1 0)
              4
              '(((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b)
                ((0 x) 1 x))) =
```

Implementación de la resolución SLD

```
= (resolucion '(nil ((P a a)))
              '(1 0)
              4
              '(((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b)
                ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(((P a a)))
              '(0)
              4
              '(((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b)
                ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(((Q x y) (P y z)) nil)
              '(4 0)
              5
              '(((4 z) 0 a) ((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b)
                ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(nil ((P y z)) nil)
              '(5 4 0)
              6
              '(((4 y) 5 b) ((4 z) 0 a) ((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b)
                ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(((P y z)) nil)
              '(4 0)
              6
              '(((4 y) 5 b) ((4 z) 0 a) ((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b)
                ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(((Q x y) (P y z)) nil nil)
              '(6 4 0)
              7
              '(((6 z) 0 a) ((6 x) 5 b) ((4 y) 5 b) ((4 z) 0 a)
                ((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a)
                ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
```

Implementación de la resolución SLD

```
= (resolucion '(nil nil)
              '(4 0)
              5
              '(((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a)
                ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion '(nil)
              '(0)
              5
              '(((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a)
                ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (resolucion nil
              nil
              5
              '(((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a)
                ((1 z) 0 b) ((0 x) 1 x))) =
= (((4 x) 0 a) ((3 x) 2 b) ((1 y) 2 b) ((1 x) 2 a) ((1 z) 0 b)
   ((0 x) 1 x))
```

Traza de resolucion y resolvente

```
> (setf *conjunto-de-clausulas*
        '(((P x) (R x))
          ((P a))))
(((P X) (R X)) ((P A)))
> (trace prueba resolucion resolvente)
> (prueba '((P y)))
1. (PRUEBA '((P Y)))
 2. (RESOLUCION '(((P Y))) '(0) '1 'NIL)
  3. (RESOLVENTE '(((P Y))) '(0) '1 'NIL)
   4. (RESOLUCION '(((R X)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X)))
    5. (RESOLVENTE '(((R X)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X)))
     6. (RESOLVENTE '(((R X)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X)) '(((P A))) 'FA
      7. (RESOLVENTE '(((R X)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X)) 'NIL 'FALLO)
      7. RESOLVENTE ==> FALLO
     6. RESOLVENTE ==> FALLO
    5. RESOLVENTE ==> FALLO
   4. RESOLUCION ==> FALLO
   4. (RESOLVENTE '(((P Y))) '(0) '1 'NIL '(((P A))) 'FALLO)
    5. (RESOLUCION '(NIL NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 A)))
     6. (RESOLUCION '(NIL) '(0) '2 '(((0 Y) 1 A)))
      7. (RESOLUCION 'NIL 'NIL '2 '(((0 Y) 1 A)))
      7. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
     6. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
    5. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
    5. (RESOLVENTE '(((P Y))) '(0) '1 'NIL 'NIL '(((0 Y) 1 A)))
    5. RESOLVENTE ==> (((0 Y) 1 A))
   4. RESOLVENTE ==> (((0 Y) 1 A))
  3. RESOLVENTE ==> (((0 Y) 1 A))
 2. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
1. PRUEBA ==> (((0 Y) 1 A))
(((0 Y) 1 A))
```

Traza de resolucion y resolvente

```
> (setf *conjunto-de-clausulas*
        '(((P x) (R b))
          ((R c))
          ((P a))))
(((P X) (R B)) ((R C)) ((P A)))
> (prueba '((P y)))
1. (PRUEBA '((P Y)))
 2. (RESOLUCION '(((P Y))) '(0) '1 'NIL)
  3. (RESOLVENTE '(((P Y))) '(0) '1 'NIL)
   4. (RESOLUCION '(((R B)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X)))
    5. (RESOLVENTE '(((R B)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X)))
     6. (RESOLVENTE '(((R B)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X))
                    '(((R C)) ((P A))) 'FALLO)
      7. (RESOLVENTE '(((R B)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X))
                     '(((P A))) 'FALLO)
       8. (RESOLVENTE '(((R B)) NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 X)) 'NIL 'FALLO)
       8. RESOLVENTE ==> FALLO
       ...
   4. RESOLUCION ==> FALLO
   4. (RESOLVENTE '(((P Y))) '(0) '1 'NIL '(((R C)) ((P A))) 'FALLO)
    5. (RESOLVENTE '(((P Y))) '(0) '1 'NIL '(((P A))) 'FALLO)
     6. (RESOLUCION '(NIL NIL) '(1 0) '2 '(((0 Y) 1 A)))
      7. (RESOLUCION '(NIL) '(0) '2 '(((0 Y) 1 A)))
       8. (RESOLUCION 'NIL 'NIL '2 '(((0 Y) 1 A)))
       8. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
      7. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
     6. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
     6. (RESOLVENTE '(((P Y))) '(0) '1 'NIL 'NIL '(((0 Y) 1 A)))
     6. RESOLVENTE ==> (((0 Y) 1 A))
    5. RESOLVENTE ==> (((0 Y) 1 A))
   4. RESOLVENTE ==> (((0 Y) 1 A))
  3. RESOLVENTE ==> (((0 Y) 1 A))
 2. RESOLUCION ==> (((0 Y) 1 A))
1. PRUEBA ==> (((0 Y) 1 A))
```

Implementación de la resolución SLD

```
(defun prueba (objetivos)
  (resolucion (list objetivos) '(0) 1 nil))

(defun resolucion (objetivos
                   lista-niveles
                   nivel
                   entorno)
  (cond ((null objetivos) entorno)
        ((null (first objetivos))
         (resolucion (rest objetivos)
                     (rest lista-niveles)
                     nivel
                     entorno))
        (t (resolvente objetivos
                       lista-niveles
                       nivel
                       entorno))))
```

Implementación de la resolución SLD

```
(defun resolvente (objetivos
                   lista-de-niveles
                   nivel
                   entorno
                   &optional (conjunto-de-clausulas
                              *conjunto-de-clausulas*)
                             (resultado 'fallo))
  (if (or (null conjunto-de-clausulas)
          (not (eq resultado 'fallo)))
      resultado
      (let* ((clausula (first conjunto-de-clausulas))
             (cabeza (first clausula))
             (cuerpo (rest clausula))
             (nuevo-entorno (unifica
                             (list (first lista-de-niveles)
                                   (primer-atomo objetivos))
                             (list nivel cabeza)
                             entorno)))
        (resolvente objetivos
                    lista-de-niveles
                    nivel
                    entorno
                    (rest conjunto-de-clausulas)
                    (if (eq nuevo-entorno 'fallo)
                        'fallo
                        (resolucion
                          (cons cuerpo
                                (restantes-objetivos objetivos))
                          (cons nivel lista-de-niveles)
                          (1+ nivel)
                          nuevo-entorno))))))
```

Implementación de la resolución SLD

- **Escritura**

```
;;;  > (respuesta '((P x b) (P y a)))
;;;  Y = A
;;;  X = A
;;;  SI
;;;  > (respuesta '((P b a)))
;;;  NO
(defun respuesta (lista-objetivos)
  (let ((variables (variables lista-objetivos))
        (entorno (prueba lista-objetivos)))
       (cond ((eq entorno 'FALLO)
              (format t "~&No.~%"))
             (t (loop for x in variables do
                      (format t "~&~a = ~a"
                              x (aplica (list 0 x) entorno)))
                (format t "~&Si.~%")))))

;;; (variables '(((P x y)))) => (X Y)
(defun variables (expresion)
  (cond ((null expresion) nil)
        ((es-variable (first expresion))
         (adjoin (first expresion)
                 (variables (rest expresion))))
        ((atom (first expresion))
         (variables (rest expresion)))
        (t (union (variables (first expresion))
                  (variables (rest expresion))))))
```

Ejemplos de programas lógicos

- **Aritmética natural**

```
> (setf *conjunto-de-clausulas*
      '(((suma 0 y y))
        ((suma (s x) y (s z))
         (suma x y z))))
(((SUMA 0 Y Y))
 ((SUMA (S X) Y (S Z))
  (SUMA X Y Z)))
> (respuesta '((suma (s 0) (s 0) x)))
X = (S (S 0))
Si.
NIL
> (respuesta '((suma x (s 0) (s (s 0)))))
X = (S 0)
Si.
NIL
```

Ejemplos de programas lógicos

```
> (setf *conjunto-de-clausulas*
        (append *conjunto-de-clausulas*
                '(((producto 0 y 0))
                  ((producto (s x) y z)
                   (producto x y u)
                   (suma u y z)))))
(((SUMA 0 Y Y))
 ((SUMA (S X) Y (S Z))
  (SUMA X Y Z))
 ((PRODUCTO 0 Y 0))
  ((PRODUCTO (S X) Y Z)
   (PRODUCTO X Y U)
   (SUMA U Y Z)))
> (respuesta '((producto (s (s 0)) (s (s (s 0))) x)))
X = (S (S (S (S (S (S 0))))))
Si.
NIL
> (respuesta '((producto (s (s 0)) x (s (s (s (s (s (s 0))))
X = (S (S (S 0)))
Si.
NIL
```

Ejemplos de programas lógicos

```
> (setf *conjunto-de-clausulas*
        (append *conjunto-de-clausulas*
                '(((factorial 0 (s 0)))
                  ((factorial (s x) y)
                   (factorial x z)
                   (producto (s x) z y)))))
(((SUMA 0 Y Y))
 ((SUMA (S X) Y (S Z))
  (SUMA X Y Z))
 ((PRODUCTO 0 Y 0))
  ((PRODUCTO (S X) Y Z)
   (PRODUCTO X Y U)
   (SUMA U Y Z))
  ((FACTORIAL 0 (S 0)))
  ((FACTORIAL (S X) Y)
   (FACTORIAL X Z)
   (PRODUCTO (S X) Z Y)))
> (respuesta '((factorial (s (s (s 0))) x)))
X = (S (S (S (S (S (S 0))))))
Si.
NIL
```

Ejemplos de programas lógicos

- **Concatenación de listas**

```
> (setf *conjunto-de-clausulas*
      '(((append nil x x))
        ((append (cons x y) z (cons x u))
         (append y z u))))
(((APPEND NIL X X))
 ((APPEND (CONS X Y) Z (CONS X U))
  (APPEND Y Z U)))
> (respuesta '((append (cons a (cons b nil)) (cons c nil) z)))
Z = (CONS A (CONS B (CONS C NIL)))
Si.
NIL
> (respuesta '((append x (cons b nil) (cons a (cons b nil)))))
X = (CONS A NIL)
Si.
NIL
> (respuesta '((append x y (cons a (cons b nil)))))
X = NIL
Y = (CONS A (CONS B NIL))
Si.
NIL
> (respuesta '((append (cons x nil) y (cons a (cons b nil)))))
X = A
Y = (CONS B NIL)
Si.
NIL
```

Referencias

- Boizumault, P. *Prolog l'implantation* (Masson, 1988)
- Lucas, P. y Gaag, L.v.d. *Principles of Expert Systems* (Addison–Wesley, 1991).
  - Cap. 2 "Logic and resolution"
- Luger, G.F. y Stubblefield, W.A. *Artificial Intelligence (Structures and Strategies for Complex Problem Solving (3 edition)* (Addison–Wesley, 1997)
  - Cap. 10.8 "Logic programming in Lisp"
- Sangal, R. *Programming Paradigms in Lisp* (McGraw–Hill, 1991)
  - Cap. 5 "Logic programming"
- Winston, P.H. y Horn, B.K. *Lisp (tercera edición)* (Addison–Wesley, 1991).
  - Cap. 27 "Encadenamiento regresivo y Prolog"