

# Análisis Sintáctico Ascendente

Análisis sintáctico ascendente por precedencia de operador

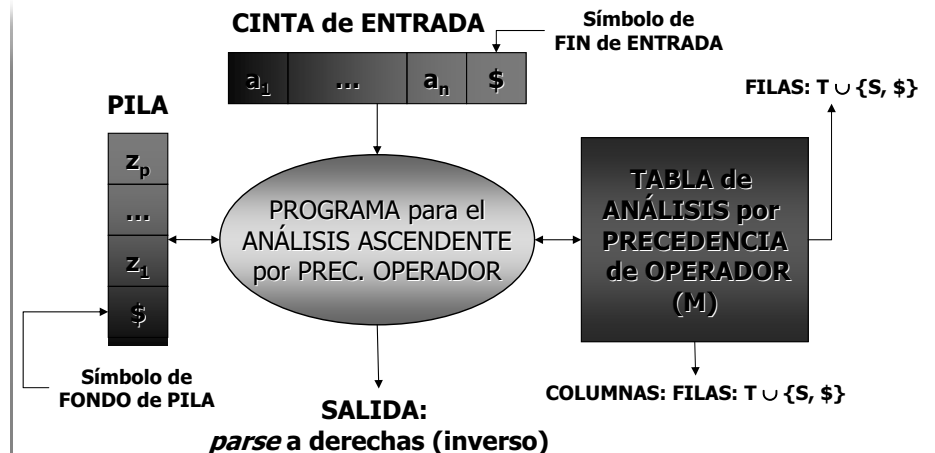
# Recordatorio: Tipos de analizadores sintácticos

- Analizador descendente:
  - Analizador descendente recursivo:
    - Con retroceso
    - Sin retroceso (predictivo)
  - Analizador descendente no recursivo predictivo ( $\equiv$  tabular):
    - Analizador  $LL(K)$ 
      - Analizador  $LL(1)$
- Analizador ascendente:
  - Analizador ascendente con retroceso
  - Analizador de gramáticas de precedencia de operador
  - Analizador de gramáticas de precedencia simple
  - Analizador  $LR(K)$ 
    - Analizadores  $LR(1)$ 
      - Analizadores  $SLR(1)$

# Tipología de gramáticas (de precedencia y de operador)

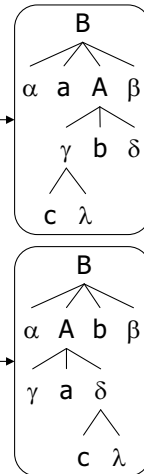
- Gramática de operador:
  - Gramática de contexto libre (GCL) sin reglas borradoras ( $A \rightarrow \lambda$ )
  - Sin reglas con metanociones adyacentes (en la parte derecha)
- Gramática de precedencia:
  - Gramática de contexto libre (GCL) sin reglas borradoras ( $A \rightarrow \lambda$ )
  - Gramática propia
    - Sin ciclos ( $A \Rightarrow^+ A$ )
    - Sin símbolos inútiles
      - Sin símbolos no accesibles
      - Sin símbolos no terminales
    - Entre cada par de símbolos (terminales y no terminales) existe al menos una relación de precedencia
- Gramática de precedencia de operador:
  - Gramática de operador
  - No existe más de una relación de precedencia (de operador) entre cualquier par de símbolos terminales

# Precedencia de operador: esquema del analizador



# Relaciones de precedencia de operador

1.  $a \doteq b$  [IGUAL PRECEDENCIA]  $\Leftrightarrow \exists (A \rightarrow \alpha a \beta b \gamma) \in P, \beta \in N \cup \{\lambda\}$
2.  $a < b$  [MENOR PRECEDENCIA]  $\Leftrightarrow \exists (B \rightarrow \alpha a A \beta) \in P, \exists (A \Rightarrow^+ \gamma b \delta), A \in N, \gamma \in N \cup \{\lambda\}$
3.  $a > b$  [MAYOR PRECEDENCIA]  $\Leftrightarrow \exists (B \rightarrow \alpha A b \beta) \in P, \exists (A \Rightarrow^+ \gamma a \delta), A \in N, \delta \in N \cup \{\lambda\}$
4. Por definición:  $\forall t \in T, \$ < t$  (fondo de pila)
5. Por definición:  $\forall t \in T, t > \#$  (fin de cadena)



# Relaciones de precedencia de operador: observaciones

1. Ninguna de las relaciones de precedencia es simétrica
2. Una vez que se han determinado las relaciones entre terminales, se trabaja con una gramática esquelética (los no terminales, a excepción del axioma, es como si desaparecieran)
3. Cuando  $pila.Cima() > token$ , se puede determinar un pivote (que habrá que reducir):
  - a) Recorriendo hacia abajo la pila, obviando relaciones  $\doteq$
  - b) Se para cuando se encuentre la primera relación  $<$  entre los símbolos de la pila
  - c) El pivote es el conjunto de símbolos de la pila encerrado entre  $<$  y  $>$

# Relaciones de precedencia de operador: determinación

- Método intuitivo (expresiones aritméticas):
  - Si  $OP_1$  tiene mayor precedencia que  $OP_2$ :
    - $OP_1 > OP_2$  y  $OP_2 < OP_1$
    - Ejemplo:  $d + a * b + c \Rightarrow * > + ; + < *$
  - Si los operadores  $OP_1$  y  $OP_2$  tienen la misma precedencia:
    - Si  $OP_1$  y  $OP_2$  son asociativos por la izquierda:
      - $OP_1 > OP_2$  y  $OP_2 > OP_1$
      - Ejemplo:  $a - b + c \Rightarrow + > - ; + > - ; - > + ; - > -$
    - Si  $OP_1$  y  $OP_2$  son asociativos por la derecha:
      - $OP_1 < OP_2$  (y  $OP_2 < OP_1$  también, en general)
      - Ejemplo:  $a * b ** c \Rightarrow * < **$
  - Hacer siempre, para cualquier operador  $OP$ :
    - $OP < id, id > OP, OP < (, ( < OP, ) > OP, OP > )$
    - $OP > \$, \$ < OP,$
    - $( \doteq ), \$ < (, \$ < id, ( < (, id > \$, ) > \$, ( < id, id > ), ) > )$
  - Si  $OPU$  es un operador unario:
    - $\forall$  operador  $OP, OP < OPU$  ( $>$  depende de la prioridad relativa como binarios)

# Conjuntos LEAD y TRAIL

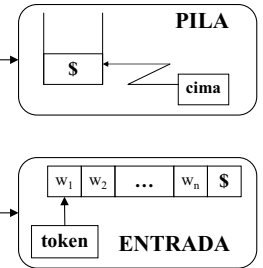
- Definiciones:
  - $LEAD(A) = \{ a \in T \mid A \Rightarrow^+ X a \alpha, \text{ donde } X \in N \cup \{\lambda\} \}$
  - $TRAIL(A) = \{ a \in T \mid A \Rightarrow^+ \alpha a X, \text{ donde } X \in N \cup \{\lambda\} \}$
- Cálculo:
  - $LEAD(A)$ :
    - Si  $(A \rightarrow \gamma a \delta) \in P, \gamma \in N \cup \{\lambda\} \Rightarrow a \in LEAD(A)$
    - Si  $(A \rightarrow B a \delta) \in P, b \in LEAD(B) \Rightarrow b \in LEAD(A)$
  - $TRAIL(A)$ :
    - Si  $(A \rightarrow \gamma a \delta) \in P, \delta \in N \cup \{\lambda\} \Rightarrow a \in TRAIL(A)$
    - Si  $(A \rightarrow \gamma a B) \in P, b \in TRAIL(B) \Rightarrow b \in TRAIL(A)$

# Relaciones de precedencia de operador: algoritmo

- $\forall A \in N$  Calcula LEAD(A), TRAIL(A)
- $\forall (A \rightarrow X_1 \dots X_n) \in P$ :
  - $\forall i \in \{1, \dots, n-1\}$ :
    - SI  $(X_i \in T \wedge X_{i+1} \in T) \Rightarrow X_i \neq X_{i+1}$
    - SI  $((i \leq n-2) \wedge X_i \in T \wedge X_{i+1} \in N \wedge X_{i+2} \in T) \Rightarrow X_i \neq X_{i+2}$
    - SI  $(X_i \in T \wedge X_{i+1} \in N) \Rightarrow$ 
      - $\forall a \in \text{LEAD}(X_{i+1})$ :
        - $X_i < a$
    - SI  $(X_i \in N \wedge X_{i+1} \in T) \Rightarrow$ 
      - $\forall b \in \text{TRAIL}(X_{i+1})$ :
        - $b > X_{i+1}$
- Si S es el axioma:
  - $\forall a \in \text{LEAD}(S)$ :  $\$ < a$  (\$, fondo de pila)
  - $\forall b \in \text{TRAIL}(S)$ :  $b > \$$  (\$, fin de cadena)

# Análisis por precedencia de operador: algoritmo

- **ENTRADA:**
  - $w = w_1 \dots w_n$ , cadena de entrada (a analizar)
  - T, tabla de relaciones de precedencia (de operador)
- **SALIDA:**
  - Si  $w \in L(G) \Rightarrow$  Árbol sintáctico resultante de analizar  $w$ ; Si  $w \notin L(G) \Rightarrow$  Indicación del error.
- **PROCESO:**
  - Inicializar();
  - REPETIR (SIEMPRE):
    - SI  $(\text{pila.Cima}() = \$) \wedge (\text{token} = \$)$ :
      - RETORNA (ÉXITO);
    - EN OTRO CASO:
      - $a \leftarrow$  1<sup>er</sup> TERMINAL más cercano a  $\text{pila.Cima}()$ ;
      - $\text{RELACIÓN} \leftarrow T[a, \text{token}]$ ;
      - SI  $(\text{RELACIÓN} = \leftarrow) \vee (\text{RELACIÓN} = \neq)$ :
        - $\text{Pila.Push}(\text{token})$ ;
        - $\text{Scan}(\text{token})$ ;
      - O BIEN SI  $(\text{RELACIÓN} = \rightarrow)$ :
        - REPETIR:
          - $\text{CIMA\_ANTERIOR} \leftarrow \text{pila.Cima}()$ ;
          - $\text{pila.Pop}()$ ;
        - HASTA QUE  $(T[\text{pila.Cima}(), \text{CIMA\_ANTERIOR}] = \leftarrow)$ ;
      - EN OTRO CASO:
        - LLAMAR al GESTOR de ERRORES.



# Análisis por precedencia de operador: ejemplo (1)

- Dada la gramática:
  1.  $E \rightarrow E+T$
  2.  $E \rightarrow T$
  3.  $T \rightarrow T * F$
  4.  $T \rightarrow F$
  5.  $F \rightarrow (E)$
  6.  $F \rightarrow id$
- ¿Cuál es la traza de ejecución del algoritmo de análisis por precedencia de operador para dicha sentencia, según la gramática especificada?
- Y dada la sentencia:
 

id+id\*id \$

# Análisis por precedencia de operador: ejemplo (2)

- Cálculo de los conjuntos LEAD (A), para  $A \in N$ :
  1. LEAD (E) =  $\{+, *, (, id\}$ 
    - $E \Rightarrow^1 E(+)T$ ;
    - $E \Rightarrow^2 T+T$ ;
    - $E \Rightarrow^3 T(*)F+T$ ;
    - $E \Rightarrow^4 F * F + T$ ;
    - $E \Rightarrow^5 (E) * F + T$ ;
    - $E \Rightarrow^6 id * F + T$ ;

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (3)

- Cálculo de los conjuntos LEAD (A), para  $A \in N$  (cont.):

2.  $LEAD(T) = \{*, (, id\}$

- $T \Rightarrow^1 T * F$ ;
- $T \Rightarrow^2 F * F$ ;
- $T \Rightarrow^3 (E) * F$ ;
- $T \Rightarrow^3 id * F$ ;

3.  $LEAD(F) = \{ (, id \}$

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (4)

- Cálculo de los conjuntos TRAIL(A), para  $A \in N$ :

1.  $TRAIL(E) = \{+, *, ), id\}$

- $E \Rightarrow^1 E + T$ ;
- $E \Rightarrow^2 T + T * F$ ;
- $E \Rightarrow^3 T + T * (E)$ ;
- $E \Rightarrow^3 T + T * id$ ;

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (5)

- Cálculo de los conjuntos TRAIL(A), para  $A \in N$  (cont.):

1.  $TRAIL(T) = \{*, ), id\}$

- $T \Rightarrow^1 T * F$ ;
- $E \Rightarrow^2 T * (E)$ ;
- $E \Rightarrow^2 T * id$ ;

2.  $TRAIL(F) = \{ ), id \}$

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (6)

- Cálculo de las relaciones de precedencia:

1.  $E \rightarrow E + T$ :

1.  $I=1 (X_1 = E; X_2 = +; X_3 = T)$ :

1.  $\forall a \in TRAIL(E), a \succ X_2$  (\* 4ª rama \*):

1.  $+ \succ +; * \succ +; ) \succ +; id \succ +$

2.  $I=2 (X_1 = +; X_2 = T)$ :

1.  $\forall a \in LEAD(T), X_1 \leq a$  (\* 3ª rama \*):

1.  $+ \leq *; + \leq (; + \leq id$

2.  $E \rightarrow T$

- No produce cambios (sólo posee un símbolo en la parte derecha)

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (7)

- Cálculo de las relaciones de precedencia (cont.):
- 3.  $T \rightarrow T * F$ :
  1.  $I=1 (X_1 = T; X_2 = *; X_3 = F)$ :
    1.  $\forall a \in \text{TRAIL}(T), a > X_2 (* 4^a \text{ rama } *)$ :
      1.  $* > *; ) > *; id > *$
  2.  $I=2 (X_1 = *; X_2 = F)$ :
    1.  $\forall a \in \text{LEAD}(F), X_1 < a (* 3^a \text{ rama } *)$ :
      1.  $* < ( ; * < id$
- 4.  $T \rightarrow F$ 
  - No produce cambios (sólo posee un símbolo en la parte derecha)

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (8)

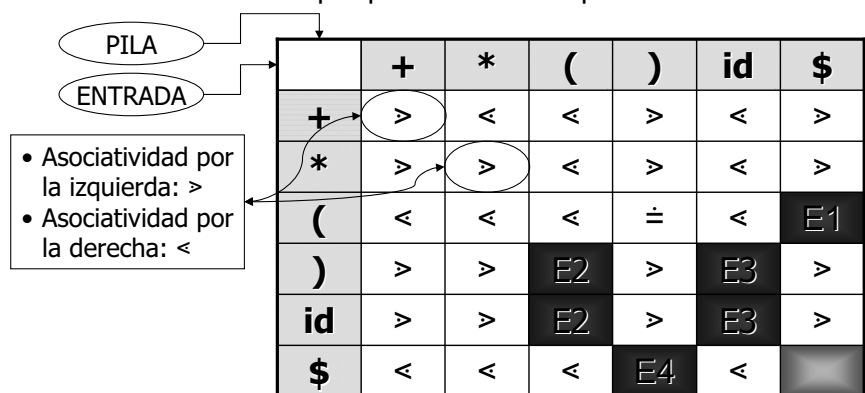
- Cálculo de las relaciones de precedencia (cont.):
- 5.  $F \rightarrow ( E )$ :
  1.  $I=1 (* X_1 = ( ; X_2 = E; X_3 = ) *)$ :
    1.  $( \leq 3-2) (* 2^a \text{ rama } *)$ :
      1.  $( \div )$
    2.  $\forall a \in \text{LEAD}(E), X_1 < a (* 3^a \text{ rama } *)$ :
      1.  $( < + ; ( < * ; ( < ( ; ( < id$
  2.  $I=2 (* X_1 = E; X_2 = ) *)$ :
    1.  $\forall a \in \text{TRAIL}(E), a > X_2 (* 4^a \text{ rama } *)$ :
      1.  $+ > ) ; * > ) ; ) > ) ; id > )$
- 6.  $F \rightarrow id$ 
  - No produce cambios (sólo posee un símbolo en la parte derecha)

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (9)

- Cálculo de las relaciones de precedencia (cont.):
- Se relaciona el axioma con los símbolos de fin de cadena y fondo de pila:
  - $\forall a \in \text{LEAD}(E), \$ < a (* \text{ fondo de pila } *)$ :
    - $\$ < + ; \$ < * ; \$ < ( ; \$ < id$
  - $\forall a \in \text{TRAIL}(E), a > \$ (* \text{ fin de cadena } *)$ :
    - $+ > \$ ; * > \$ ; ) > \$ ; id > \$$

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (10)

- Se resume la información de las relaciones de precedencia en la matriz de análisis por precedencia de operador:



## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (11)

- Especificación de errores:
  - E1: Fin de entrada inesperado (falta paréntesis de cierre).
  - E2: Símbolo inesperado: '('
  - E3: Símbolo inesperado: identificador
  - E4: Símbolo inesperado: ')' (falta paréntesis de apertura o sobra paréntesis de cierre)

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (12)

- Obtención de la gramática esquelética ( $G'$ ):
  1.  $E \rightarrow E + E$
  2.  $E \rightarrow E * E$
  3.  $E \rightarrow (E)$
  4.  $E \rightarrow id$
- Observación:
  - En general,  $L(G) \subseteq L(G')$ , por lo que al trabajar con  $L(G')$ , se puede llegar a reconocer cadenas  $w \notin L(G)$

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (13)

- Traza del algoritmo (1):

PILA	ENTRADA	REL. PREC.	ACCIÓN
\$	$id_1 + id_2 * id_3 \$$	$\$ < id_1$	Desplazar ( $id_1$ )
$\$ id_1$	$+ id_2 * id_3 \$$	$id_1 > +$	Reducir ( $E \rightarrow id$ )
\$	$+ id_2 * id_3 \$$	$\$ < +$	Desplazar (+)
$\$ +$	$id_2 * id_3 \$$	$+ < id_2$	Desplazar ( $id_2$ )
$\$ + id_2$	$* id_3 \$$	$id_2 > *$	Reducir ( $E \rightarrow id$ )
$\$ +$	$* id_3 \$$	$+ < *$	Desplazar (*)
$\$ + *$	$id_3 \$$	$* < id_3$	Desplazar ( $id_3$ )
$\$ + * id_3$	\$	$id_3 > \$$	Reducir ( $E \rightarrow id$ )

## Análisis por precedencia de operador: ejemplo (14)

- Traza del algoritmo (2):

PILA	ENTRADA	REL. PREC.	ACCIÓN
$\$ + *$	\$	$* > \$$	Reducir ( $E \rightarrow E * E$ )
$\$ +$	\$	$+ > \$$	Reducir ( $E \rightarrow E + E$ )
\$	\$	$\emptyset$	Aceptar

# Bibliografía

- Aho, A. V.; Sethi, R.; Ullman, J. D.: *Compilers: Principles, Techniques and Tools*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- Alfonseca Cubero, E.; Alfonseca Moreno, M.; Moriyón Salomón, R. Teoría de autómatas y lenguajes formales. Madrid: Mc-Graw-Hill/Interamericana de España, S.A.U., 2007.
- Grogono, P. Programación en Pascal. Wilmington, Delaware (EE.UU.):Addison-Wesley Iberoamericana, 1996.
- Sanchís Llorca, F. J. y Galán Pascual, C. Compiladores: Teoría y construcción. Madrid: Editorial Paraninfo, 1986.