Diseño de Compiladores I

Análisis Sintáctico
Parsing Descendente

Análisis Sintáctico

- Agrupa los tokens del programa fuente en frases gramaticales que el compilador usará en las siguientes etapas.

- Obtiene una cadena de tokens del Analizador Léxico, y verifica que la cadena de tokens pueda generarse mediante la gramática del lenguaje.

Estrategias de Parsing

- Parsing Ascendente (botton up)
  - Construye el árbol desde las hojas a la raíz
- Parsing Descendente (top down)
  - Construye el árbol desde la raíz a las hojas

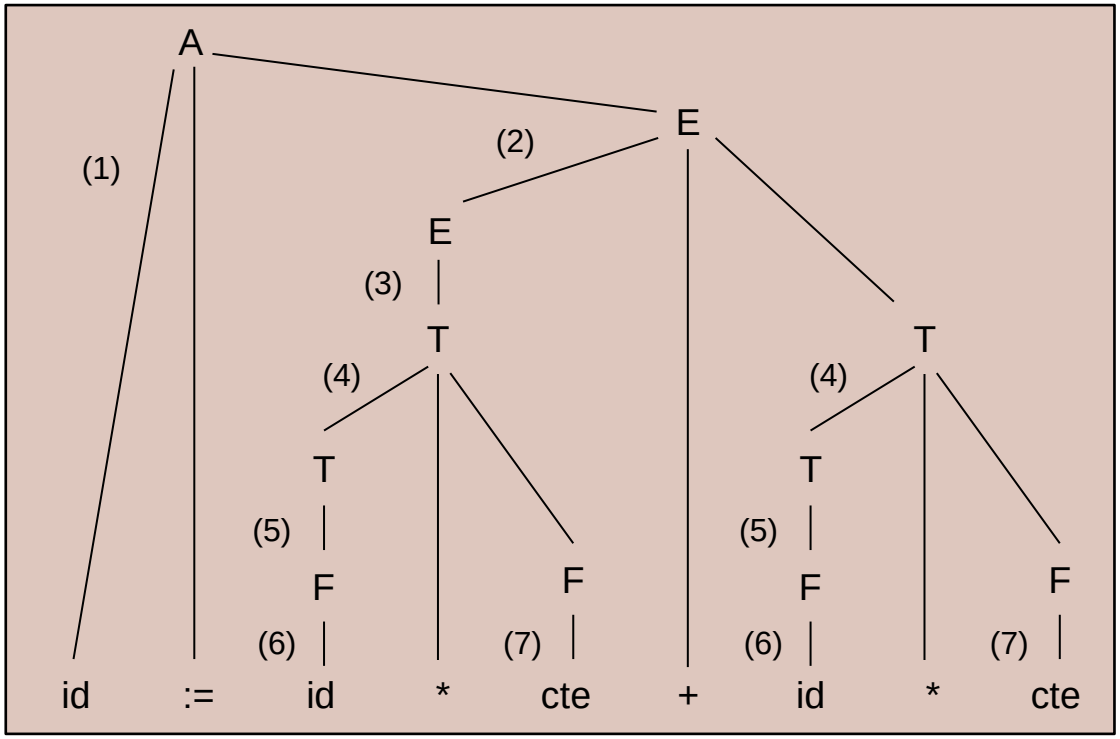
Parsing Ascendente
Ejemplo

precio := costo1 * 1.5 + costo2 * 1.2 → id := id * cte + id * cte

Gramática

1) A → id := E
2) E → E + T
3) E → T
4) T → T * F
5) T → F
6) F → id
7) F → cte

Árbol de Parsing



Lista de Reglas: 6 5 7 4 3 6 5 7 4 2 1

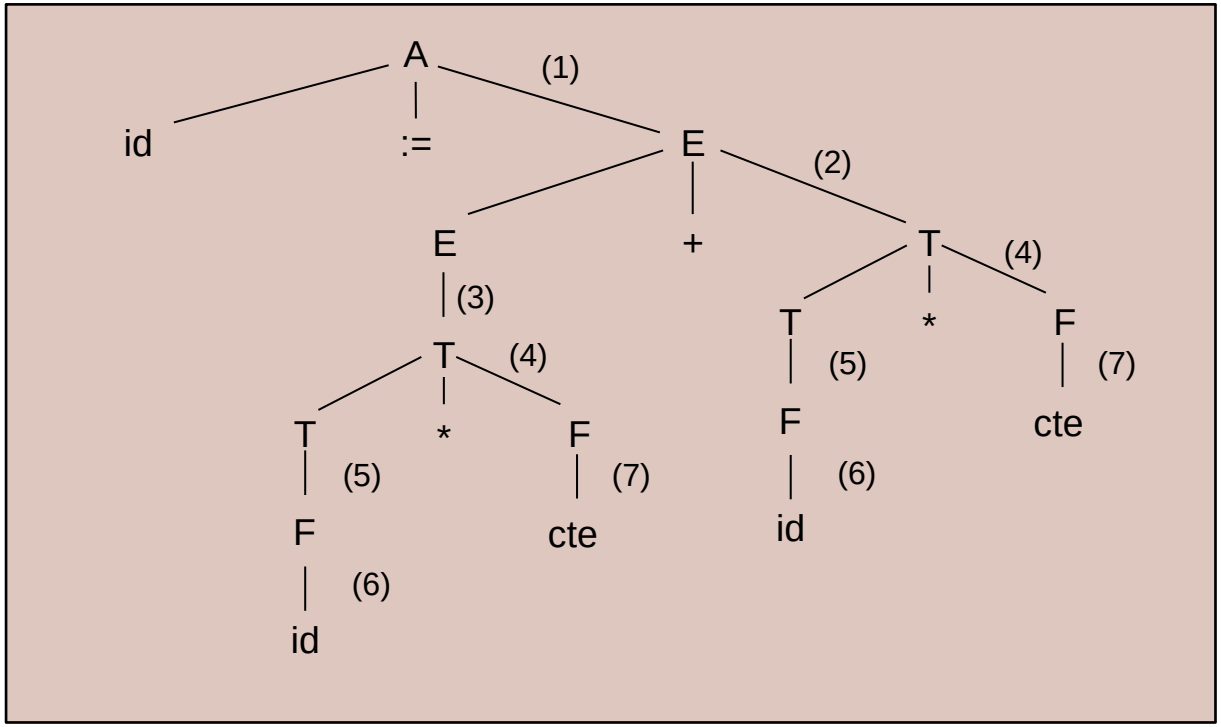
Parsing Descendente
Ejemplo

precio := costo1 * 1.5 + costo2 * 1.2 → id := id * cte + id * cte

Gramática

1) A → id := E
2) E → E + T
3) E → T
4) T → T * F
5) T → F
6) F → id
7) F → cte

Árbol de Parsing



Lista de Reglas: 1 2 3 4 5 6 7 4 5 6 7

Parsing Descendente
Gramáticas LL

- Va de la hipótesis al programa
- El programa se lee de izquierda a derecha (**L**).
- Las reglas se leen de izquierda a derecha (**L**):
  el lado izquierdo se reemplaza por el derecho.
- Estrategia: ***Expansión***

Parsing Descendente

- Predice el programa.
- Sólo puede construir el programa deseado, si se elige la secuencia correcta de reglas.
- Otras secuencias construyen otros programas.
- La dificultad está en determinar la secuencia correcta.

Parsing Descendente

Gramática

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow E + T$
3) $E \rightarrow T$
4) $T \rightarrow T * F$
5) $T \rightarrow F$
6) $F \rightarrow id$
7) $F \rightarrow cte$

Parsing Descendente
Método lineal, directo o inductivo

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

Parsing

- A
- id := E

  Existen 2 opciones para E → Elijo la primera:
- id := E + T

  Existen 2 opciones para E → Elijo la primera:
- id := E + T + T

  Existen 2 opciones para E → Elijo la primera:
- id := E + T + T + T
- …

Gramática

1) A → id := E
2) E → E + T
3) E → T
4) T → T * F
5) T → F
6) F → id
7) F → cte

El algoritmo entra en un ciclo infinito

***Causa*: Recursividad a izquierda**

Parsing Descendente

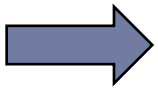
El Parsing Descendente es incompatible con la recursividad a izquierda

Parsing Descendente

- El Parsing Descendente es incompatible con la recursividad a izquierda.
- Se debe modificar la gramática para que sea recursiva a derecha.

Gramática

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow E + T$
3) $E \rightarrow T$
4) $T \rightarrow T * F$
5) $T \rightarrow F$
6) $F \rightarrow id$
7) $F \rightarrow cte$



Gramática

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow T + E$
3) $E \rightarrow T$
4) $T \rightarrow F * T$
5) $T \rightarrow F$
6) $F \rightarrow id$
7) $F \rightarrow cte$

Parsing Descendente

Eliminar la recursividad a izquierda

1) $A \rightarrow A\ \alpha$
2) $A \rightarrow \beta$

1) $A \rightarrow \beta\ A'$
2) $A' \rightarrow \alpha\ A'$
3) $A' \rightarrow \lambda$

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow E + T$
3) $E \rightarrow T$
4) $T \rightarrow T * F$
5) $T \rightarrow F$
6) $F \rightarrow id$
7) $F \rightarrow cte$

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow T\ E'$
3) $E' \rightarrow + T\ E'$
4) $E' \rightarrow \lambda$
5) $T \rightarrow F\ T'$
6) $T' \rightarrow * F\ T'$
7) $T' \rightarrow \lambda$
8) $F \rightarrow id$
9) $F \rightarrow cte$

Parsing Descendente
Eliminar la recursividad a izquierda

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow T\ E'$
3) $E' \rightarrow + T\ E'$
4) $E' \rightarrow \lambda$
5) $T \rightarrow F\ T'$
6) $T' \rightarrow * F\ T'$
7) $T' \rightarrow \lambda$
8) $F \rightarrow id$
9) $F \rightarrow cte$

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow T + E$
3) $E \rightarrow T$
4) $T \rightarrow F * T$
5) $T \rightarrow F$
6) $F \rightarrow id$
7) $F \rightarrow cte$

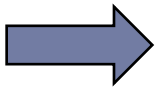
Parecen ser diferentes

Parsing Descendente

- La recursividad a derecha modifica la asociatividad de los operadores:

Gramática

1) $A \rightarrow id := E$
2) $E \rightarrow T + E$
3) $E \rightarrow T - E$
4) $E \rightarrow T$
5) $T \rightarrow F * T$
6) $T \rightarrow F / T$
7) $T \rightarrow F$
8) $F \rightarrow id$
9) $F \rightarrow cte$



Ejemplo:

$(3 + 2) + 2 = 3 + (2 + 2)$

Pero…

$(3 - 2) - 2 \neq 3 - (2 - 2)$

Parsing Descendente LL(0)
Ejemplo

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

	Reconocido	Lista de reglas	Postergada
	A		
✓	id := E	1	
	id := T + E	1,2	3
	id := F * T + E	1,2,4	5
✓	id := id * T + E	1,2,4,6	7
	id := id * F * T + E	1,2,4,6,4	5 ✓
X	id := id * id * T + E	1,2,4,6,4,6	7 ✓
X	id := id * cte * T + E	1,2,4,6,4,7	
	id := id * F + E	1,2,4,6,5	
X	id := id * id + E	1,2,4,6,5,6	7 ✓
✓	id := id * cte + E	1,2,4,6,5,7	

Gramática

1) A → id := E
2) E → T + E
3) E → T
4) T → F * T
5) T → F
6) F → id
7) F → cte

Parsing Descendente LL(0)
Ejemplo

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

	Reconocido	Lista de reglas	Postergada
✓	id := id * cte + E	1,2,4,6,5,7	
	id := id * cte + T + E	1,2,4,6,5,7,2	3 ✓
	id := id * cte + F * T + E	1,2,4,6,5,7,2,4	5 ✓
X	id := id * cte + id * T + E	1,2,4,6,5,7,2,4,~~6~~	7 ✓
X	id := id * cte + cte * T + E	1,2,4,6,5,7,2,~~4,7~~	
	id := id * cte + F + E	1,2,4,6,5,7,2,5	
X	id := id * cte + id + E	1,2,4,6,5,7,2,5,~~6~~	7 ✓
X	id := id * cte + cte + E	1,2,4,6,5,7,~~2,5,7~~	
	id := id * cte + T	1,2,4,6,5,7,3	

Gramática

1) A → id := E
2) E → T + E
3) E → T
4) T → F * T
5) T → F
6) F → id
7) F → cte

Parsing Descendente LL(0)
Ejemplo

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

	Reconocido	Lista de reglas	Postergada
	id := id * cte + T	1,2,4,6,5,7,3	
	id := id * cte + F * T	1,2,4,6,5,7,3,4	5 ✓
X	id := id * cte + id * T	1,2,4,6,5,7,3,4,~~6~~	~~7~~ ✓
X	id := id * cte + cte * T	1,2,4,6,5,7,3,~~4,7~~	
✓	id := id * cte + F	1,2,4,6,5,7,3,5	
✓	id := id * cte + id	1,2,4,6,5,7,3,5,6	

Lista de Reglas: 1 2 4 6 5 7 3 5 6

Gramática

1) A → id := E
2) E → T + E
3) E → T
4) T → F * T
5) T → F
6) F → id
7) F → cte

Parsing Descendente LL(0)

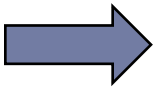
- Elige la regla sin mirar lo que viene después
- Tiene muchos retrocesos
- ¿Y si el programa está mal?

Parsing Descendente LL(1)

- Cada no Terminal debe tener una sola definición.
- Se modifica la gramática

Gramática

1) A → id := E
2) E → T + E
3) E → T
4) T → F * T
5) T → F
6) F → id
7) F → cte



Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

Ahora R, Q y F no tienen definición única, pero existe un terminal que permite decidir

Parsing Descendente
Comparación gramáticas

Gramática factorizada

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

Gramática con recursividad a derecha obtenida antes

1) A → id := E
2) E → T E'
3) E '→ + T E'
4) E' → λ
5) T → F T'
6) T' → * F T'
7) T' → λ
8) F → id
9) F → cte

Gramáticas equivalentes

Parsing Descendente LL(1) o Parsing Descendente Predictivo

A
id := E
id := T R
id := F Q R
id := id Q R
id := id * T R
id := id * F Q R
id := id * cte Q R
id := id * cte R
id := id * cte + E
id := id * cte + T R
id := id * cte + F Q R
id := id * cte + id Q R
id := id * cte + id R
id := id * cte + id

➔ No hay retrocesos

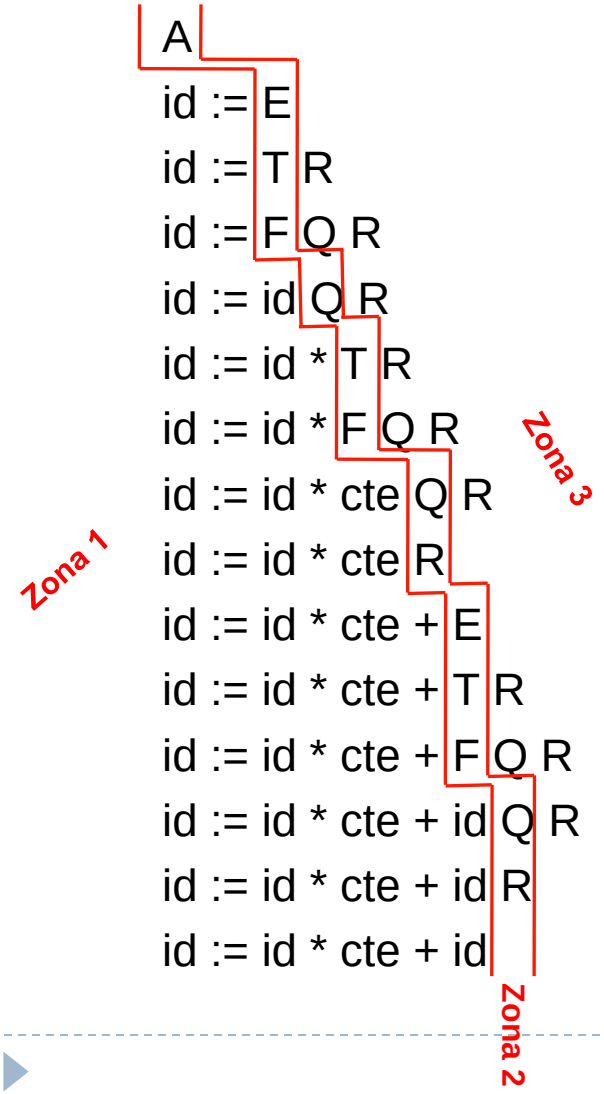
a := b * 5 + c → id := id * cte + id

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

Parsing Descendente Predictivo

*Construcción **intuitiva** de la matriz partir de un ejemplo*



- Se definen 3 zonas:

1) Ya lo generé → No lo necesito
2) Primer No Terminal
3) Lo usaré después → Lo apilo

Es posible decidir con 1 NT + 1 T

Parsing Descendente Predictivo
Construcción (***intuitiva***) de la Matriz

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id := E					
E						
F	id	cte				
T						
R				+ E		
Q					* T	

- Agrego la definición de todas las reglas que empiezan con un Terminal, para la combinación (NT,T) correspondiente

Parsing Descendente LL(1)

A
id := E
id := T R
id := F Q R
id := id Q R
id := id * T R
id := id * F Q R
id := id * cte Q R
id := id * cte R
id := id * cte + E
id := id * cte + T R
id := id * cte + F Q R
id := id * cte + id Q R
id := id * cte + id R
id := id * cte + id

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

- T se reemplaza por FQ cuando viene id o cte

Parsing Descendente Predictivo
Construcción (***intuitiva***) de la Matriz

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id := E					
E						
F	id	cte				
T	F Q	F Q				
R				+ E		
Q					* T	

- T se reemplaza por FQ cuando viene id o cte (primer Terminal de F)
- Agrego FQ para las celdas (T , id) y (T , cte)

Parsing Descendente LL(1)

A
id := E
id := T R
id := F Q R
id := id Q R
id := id * T R
id := id * F Q R
id := id * cte Q R
id := id * cte R
id := id * cte + E
id := id * cte + T R
id := id * cte + F Q R
id := id * cte + id Q R
id := id * cte + id R
id := id * cte + id

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

- E se reemplaza por TR cuando viene id o cte

Parsing Descendente Predictivo
Construcción (***intuitiva***) de la Matriz

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id := E					
E	T R	T R				
F	id	cte				
T	F Q	F Q				
R				+ E		
Q					* T	

- E se reemplaza por TR cuando viene id o cte (primer Terminal de F, por lo tanto primer Terminal de T)
- Agrego TR para las celdas (E , id) y (E , cte)

Parsing Descendente LL(1)

A
id := E
id := T R
id := F Q R
id := id Q R
id := id * T R
id := id * F Q R
id := id * cte Q R
id := id * cte R
id := id * cte + E
id := id * cte + T R
id := id * cte + F Q R
id := id * cte + id Q R
id := id * cte + id R
id := id * cte + id

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

- Q desaparece (se reemplaza por λ) cuando viene **+** o **$**

Parsing Descendente Predictivo
Construcción (***intuitiva***) de la Matriz

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id := E					
E	T R	T R				
F	id	cte				
T	F Q	F Q				
R				+ E		
Q				λ	* T	λ

- Q desaparece (se reemplaza por λ) cuando viene **+** (primer Terminal de R) o $
- Agrego λ para (Q , +) y para (Q , $)

Parsing Descendente LL(1)

A
id := E
id := T R
id := F Q R
id := id Q R
id := id * T R
id := id * F Q R
id := id * cte Q R
id := id * cte R
id := id * cte + E
id := id * cte + T R
id := id * cte + F Q R
id := id * cte + id Q R
id := id * cte + id R
id := id * cte + id

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

- R desaparece (se reemplaza por λ) cuando viene $

Parsing Descendente Predictivo
Construcción (***intuitiva***) de la Matriz

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id := E					
E	T R	T R				
F	id	cte				
T	F Q	F Q				
R				+ E		λ
Q				λ	* T	λ

- R desaparece (se reemplaza por λ) cuando viene $
- Agrego λ (R , $)

Parsing Descendente Predictivo
Construcción (***intuitiva***) de la Matriz

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id := E					
E	T R	T R				
F	id	cte				
T	F Q	F Q				
R				+ E		λ
Q				λ	* T	λ

➔ Las celdas en blanco representan errores

Parsing Descendente Predictivo: Acciones

	Id	cte	:=	+	*	$
A	E / Leer 2					
E	T / Apilar R	T / Apilar R				
F	Leer Desapilar	Leer Desapilar				
T	F / Apilar Q	F / Apilar Q				
R				E / Leer		Desapilar
Q				Desapilar	T / Leer	Desapilar

- **Generar una regla**
- **Leer**
- **Apilar**
- **Desapilar**

- **T + NT →**
  - **Generar**
  - **Leer**
  - **Ir a NT**
- **NT1 + NT2 →**
  - **Apilar NT2**
  - **Ir a NT1**
- **T →**
  - **Generar**
  - **Leer**
  - **Desapilar**
  - **Ir al NT tope de la pila**
- **λ →**
  - **Desapilar**
  - **Ir al NT tope de la pila**

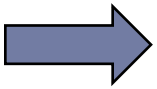
Parsing Descendente Predictivo

- Para evitar la acción Leer 2, se modifica la gramática

.

Gramática

1) A → id := E
2) E → T R
3) R → + E
4) R → λ
5) T → F Q
6) Q → * T
7) Q → λ
8) F → id
9) F → cte



Gramática

1) A → id B
2) B → := E
3) E → T R
4) R → + E
5) R → λ
6) T → F Q
7) Q → * T
8) Q → λ
9) F → id
10) F → cte

Parsing Descendente Predictivo Acciones

	Id	cte	:=	+	*	$
A	**B** / **Leer**					
B			**E** / **Leer**			
E	T / Apilar R	T / Apilar R				
F	Leer Desapilar	Leer Desapilar				
T	F / Apilar Q	F / Apilar Q				
R				E / Leer		Desapilar
Q				Desapilar	T / Leer	Desapilar

Gramática

1) A → id B
2) B → := E
3) E → T R
4) R → + E
5) R → λ
6) T → F Q
7) Q → * T
8) Q → λ
9) F → id
10) F → cte

Parsing Descendente Predictivo Ejemplo

a := b * 5 + c → id := id * cte + id

Estado	Leído	Pila	Generado	Regla
A	id			
B	:=		id	1
E	id		id :=	2
T	id	R		3
F	id	QR		6
Q	*	R	id := id	9
T	cte	R	id := id *	7
F	cte	QR		6
Q	+	R	id := id * cte	10
R	+			8
E	id		id := id * cte +	4
T	id	R		3
F	id	QR		6
Q	$	R	id := id * cte + id	9
R	$	-		8
FIN				5

¿Cómo se detecta el FIN?

- Cuando se vacía la pila y el token leído es $

Parsing Descendente Predictivo Ejemplo con error

a := b * 5 c → id := id * cte id

NT	Leído	Pila	Generado	Regla
A	id			
B	:=		id	1
E	id		id :=	2
T	id	R		3
F	id	QR		6
Q	*	R	id := id	9
T	cte	R	id := id *	7
F	cte	QR		6
Q	id	R	id := id * cte	10

ERROR: Se esperaba + o * y se leyó id

Parsing Descendente Predictivo

Construcción Formal de la Matriz

Parsing Descendente Predictivo
Construcción Formal de la Matriz

- Se completan las celdas de la matriz, considerando los Primeros y los Siguientes de los No Terminales

Parsing Descendente Predictivo
Construcción de la Matriz

PRIMEROS

1. Si x es Terminal → PRIMEROS(x) = {x}
2. Si $X \rightarrow \lambda$ → $\lambda \in$ PRIMEROS(X)
3. Si $X \rightarrow A\ B\ C\ D\ldots$ → PRIMEROS(X) =

   PRIMEROS(A)

   $\cup$ PRIMEROS(B) Si $\lambda \in$ PRIMEROS(A)

   $\cup$ PRIMEROS(C) Si $\lambda \in$ PRIMEROS(A) $\wedge$ $\lambda \in$ PRIMEROS(B)

   $\cup$ …

Parsing Descendente Predictivo
Construcción de la Matriz

- Se obtienen los PRIMEROS de los NT

1) $A \rightarrow id\ B$
2) $B \rightarrow :=\ E$
3) $E \rightarrow T\ R$
4) $R \rightarrow +\ E$
5) $R \rightarrow \lambda$
6) $T \rightarrow F\ Q$
7) $Q \rightarrow *\ T$
8) $Q \rightarrow \lambda$
9) $F \rightarrow id$
10) $F \rightarrow cte$

PRIMEROS(A) = { id }
PRIMEROS(B) = { := }
PRIMEROS(E) = PRIMEROS(T) = { id, cte }
PRIMEROS(R) = { +, λ }
PRIMEROS(T) = PRIMEROS(F) = { id, cte }
PRIMEROS(Q) = { *, λ }
PRIMEROS(F) = { id, cte }

Parsing Descendente Predictivo
Construcción de la Matriz

- Se obtienen los SIGUIENTES de los NT

SIGUIENTES

1. Se agrega $ a SIGUIENTES(A)
   (Siendo A la primera regla de la gramática)

2. Si $X \rightarrow \alpha A \beta$ ➔
   SIGUIENTES(A) =
   PRIMEROS(β) Excepto λ
   $\cup$ SIGUIENTES(X) Si $\beta \not\exists$
   $\vee \lambda \in$ PRIMEROS(β)

Parsing Descendente Predictivo Construcción de la Matriz

- Se obtienen los SIGUIENTES de los NT

1) $A \rightarrow id\ B$
2) $B \rightarrow := E$
3) $E \rightarrow T\ R$
4) $R \rightarrow + E$
5) $R \rightarrow \lambda$
6) $T \rightarrow F\ Q$
7) $Q \rightarrow *T$
8) $Q \rightarrow \lambda$
9) $F \rightarrow id$
10) $F \rightarrow cte$

SIGUIENTES(A) = { $ }

SIGUIENTES(B) = SIGUIENTES(A) = { $ }

SIGUIENTES(E) = SIGUIENTES(B) $\cup$ SIGUIENTES(R) = { $ }

SIGUIENTES(R) = SIGUIENTES(E) = { $ }

SIGUIENTES(T) = PRIMEROS(R) $\cup$ SIGUIENTES(E)
$\cup$ SIGUIENTES(Q) = { +, $ }

SIGUIENTES(Q) = SIGUIENTES(T) = { +, $ }

SIGUIENTES(F) = PRIMEROS(Q) $\cup$ SIGUIENTES(T) = { *, +, $ }

- Se completan las celdas para los PRIMEROS (excepto λ)

1) A → id B
2) B → := E
3) E → T R
4) R → + E
5) R → λ
6) T → F Q
7) Q → * T
8) Q → λ
9) F → id
10) F → cte

PRIMEROS(A) = { id }
PRIMEROS(B) = { := }
PRIMEROS(E) = { id, cte }
PRIMEROS(R) = { +, λ }
PRIMEROS(T) = { id, cte }
PRIMEROS(Q) = { *, λ }
PRIMEROS(F) = { id, cte }

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id B					
B			:= E			
E	T R	T R				
T	F Q	F Q				
F	Id	cte				
R				+ E		
Q					* T	

- Para todos los no Terminales α tal que $\lambda \in$ PRIMEROS(α), se consideran los SIGUIENTES (α)

1) A $\rightarrow$ id B
2) B $\rightarrow$:= E
3) E $\rightarrow$ T R
4) R $\rightarrow$ + E
5) R $\rightarrow$ λ
6) T $\rightarrow$ F Q
7) Q $\rightarrow$ * T
8) Q $\rightarrow$ λ
9) F $\rightarrow$ id
10) F $\rightarrow$ cte

PRIMEROS(R) = { +, λ }
SIGUIENTES(R) = { $ }

PRIMEROS(Q) = { *, λ }
SIGUIENTES(Q) = { +, $ }

	Id	cte	:=	+	*	$
A	id B					
B			:= E			
E	T R	T R				
T	F Q	F Q				
F	Id	cte				
R				+ E		λ
Q				λ	* T	λ

Parsing Descendente Predictivo

- Ventajas
  - No tiene retrocesos.
  - Errores bien definidos.

- Desventajas
  - No hay muchos lenguajes que se adapten a este Parsing.
  - Con LL(2) y LL(3) se podrían cubrir más lenguajes, pero las matrices serían muy grandes.