

# PROCESADORES DE LENGUAJES

## TEMA III.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ANÁLISIS SINTÁCTICO

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Córdoba

# Programa

- Tema I.- Introducción
- Tema II.- Análisis Lexicográfico
- Tema III.- Fundamentos Teóricos del Análisis Sintáctico
- Tema IV.- Análisis Sintáctico Descendente
- Tema V.- Análisis Sintáctico Ascendente

# Programa

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Introducción

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Introducción

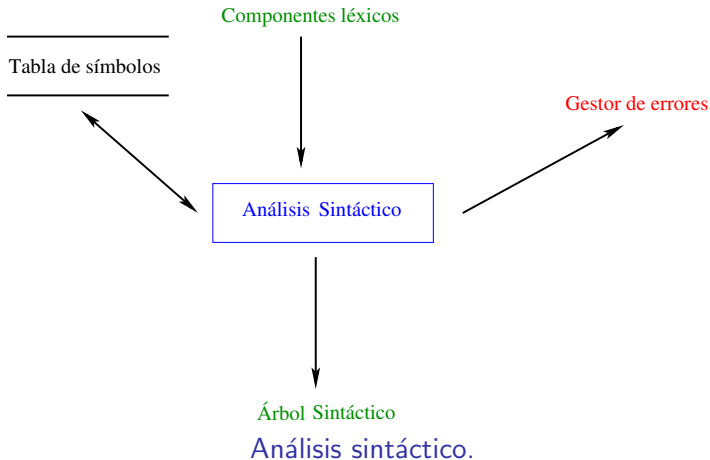
- 1 Introducción
  - El análisis sintáctico en el proceso de traducción

# Contenido de la sección

- 1 Introducción
  - El análisis sintáctico en el proceso de traducción

# Introducción

El análisis sintáctico en el proceso de traducción



# Introducción

## El análisis sintáctico en el proceso de traducción

### Tareas del análisis sintáctico

- Recibir los componentes léxicos.
- Comprobar que se cumplen las reglas sintácticas de lenguaje de programación:
  - Utiliza una gramática de contexto libre.
  - Genera un árbol sintáctico de forma figurada.

### Nota (Observaciones)

- *No tiene contacto directo con el programa fuente.*
- *Tiene acceso a la tabla de símbolos.*
- *Se comunica con el gestor de errores.*



# Introducción

## El análisis sintáctico en el proceso de traducción

### Justificación del uso de las gramáticas de contexto libre

- 1 Permiten especificar sintácticamente las sentencias de los lenguajes de programación.
- 2 Existen herramientas de generadores de analizadores sintácticos a partir de una gramática: YACC, ANTLR, etc.
- 3 Facilitan la generación de código
- 4 Facilitan la detección y el procesamiento de los errores.
- 5 Permiten la ampliación del lenguaje.

### Nota

*Las gramáticas de contexto libres son potentes, pero también tienen sus limitaciones.*

# Introducción

El análisis sintáctico en el proceso de traducción

## Ejemplo (Lenguaje que no es de contexto libre)

$$L = \{a^n b^n c^n \mid n \geq 1\} = \{abc, aabbcc, aaabbbccc, \dots\}$$

- *Este lenguaje no puede ser generado por una gramática de contexto libre.*
- *Se demuestra con el lema de bombeo de los lenguajes de contexto libre.*

# Introducción

El análisis sintáctico en el proceso de traducción

## Ejemplo (Coordinación de argumentos de una función)

```
int mcd(int a, int b);  
...  
main ()  
{  
    c=mcd (18, 12);  
}
```

```
int mcd (int a, int b)  
{  
    return ...;  
}
```

# Introducción

El análisis sintáctico en el proceso de traducción

## Ejemplo (Lenguajes que sí son de contexto libre)

- $L = \{a^n b^n \mid n \geq 1\} = \{ab, aabb, \dots\}$
- $L = \{a^i b^j c^k \mid i, j, k \geq 1\} = \{a, ab, aab, \dots\}$

# Gramáticas de contexto libre

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre**
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Gramáticas de contexto libre

- ② Gramáticas de contexto libre
  - Introducción
  - Definición
  - Convenios de notación
  - Derivación
  - Árbol sintáctico asociado a una derivación
  - Lenguaje generado por una gramática

# Contenido de la sección

- 2 Gramáticas de contexto libre
  - **Introducción**
  - Definición
  - Convenios de notación
  - Derivación
  - Árbol sintáctico asociado a una derivación
  - Lenguaje generado por una gramática

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Gramáticas

- Indican las reglas **sintácticas** de los lenguajes.
- Pueden **generar**
  - frases de lenguajes naturales
  - cadenas de lenguajes formales
    - Los lenguajes de programación son un caso particular de lenguajes formales.



# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Ejemplo (Gramática que genera frases copulativas) 1 / 6

(1)  $\langle \text{oración} \rangle \rightarrow \langle \text{sujeto} \rangle \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{atributo} \rangle$

(2)  $\langle \text{sujeto} \rangle \rightarrow \langle \text{artículo} \rangle \langle \text{nombre} \rangle$

(3)  $\langle \text{artículo} \rangle \rightarrow \mathbf{el}$

(4)  $\langle \text{artículo} \rangle \rightarrow \mathbf{la}$

(5)  $\langle \text{nombre} \rangle \rightarrow \mathbf{hombre}$

(6)  $\langle \text{nombre} \rangle \rightarrow \mathbf{niña}$

...

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

**Ejemplo** (Gramática que genera frases copulativas

2 / 6)

...

(7) <verbo> → **es**

(8) <verbo> → **está**

(9) <verbo> → **parece**

(10) <atributo> → <adjetivo>

(11) <adjetivo> → **alto**

(12) <adjetivo> → **bella**

(13) <adjetivo> → **inteligente**

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Ejemplo (Agrupamiento de reglas)

3 / 6

<artículo> → **el** | **la** | **un** | **una**

<nombre> → **hombre** | **niña**

<verbo> → **es** | **está** | **parece**

<adjetivo> → **alto** | **bella** | **inteligente**

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Ejemplo (Generación de una frase mediante derivación 4 / 6)

$\langle oración \rangle \xRightarrow{1} \underline{\langle sujeto \rangle} \langle verbo \rangle \langle atributo \rangle$

$\xRightarrow{2} \underline{\langle artículo \rangle} \langle nombre \rangle \langle verbo \rangle \langle atributo \rangle$

$\xRightarrow{4} \underline{la} \langle nombre \rangle \langle verbo \rangle \langle atributo \rangle$

$\xRightarrow{6} \underline{la} \underline{niña} \langle verbo \rangle \langle atributo \rangle$

$\xRightarrow{7} \underline{la} \underline{niña} \underline{es} \langle atributo \rangle$

$\xRightarrow{10} \underline{la} \underline{niña} \underline{es} \underline{\langle adjetivo \rangle}$

$\xRightarrow{13} \underline{la} \underline{niña} \underline{es} \underline{inteligente}$

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

**Ejemplo** (Generación de una frase mediante derivación 5 / 6)

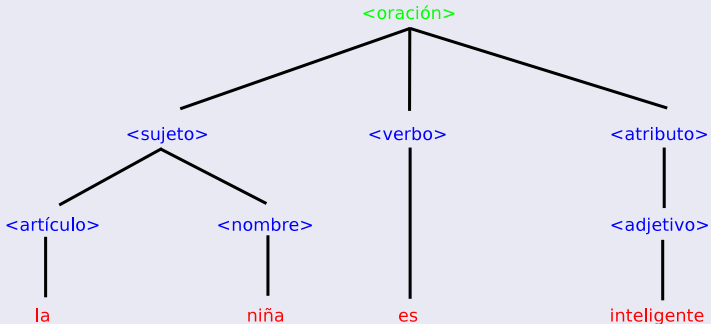
- *Notación abreviada*

$\langle \text{oración} \rangle \xRightarrow{+}$  **la niña es inteligente**

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Ejemplo (Árbol sintáctico asociado a la derivación) 6 / 6



## Gramáticas de contexto libre

## Introducción

## Nota (Limitación de las gramáticas de contexto libre 1 / 2)

- Error semántico**

$\langle \text{oración} \rangle \xRightarrow{1} \underline{\langle \text{sujeto} \rangle} \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{atributo} \rangle$   
 $\xRightarrow{2} \underline{\langle \text{artículo} \rangle} \underline{\langle \text{nombre} \rangle} \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{atributo} \rangle$   
 $\xRightarrow{4} \underline{\text{la}} \langle \text{nombre} \rangle \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{atributo} \rangle$   
 $\xRightarrow{5} \underline{\text{la}} \underline{\text{hombre}} \langle \text{verbo} \rangle \langle \text{atributo} \rangle$   
 $\xRightarrow{9} \underline{\text{la}} \underline{\text{hombre}} \underline{\text{parece}} \langle \text{atributo} \rangle$   
 $\xRightarrow{10} \underline{\text{la}} \underline{\text{hombre}} \underline{\text{parece}} \underline{\langle \text{adjetivo} \rangle}$   
 $\xRightarrow{12} \underline{\text{la}} \underline{\text{hombre}} \underline{\text{parece}} \underline{\text{bella}}$

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Nota (Limitación de las gramáticas de contexto libre 2 / 2)

- *La derivación*

$\langle \text{oración} \rangle \xRightarrow{+}$  **la hombre parece bella**

es *sintácticamente* correcta

pero *no* es *semánticamente* correcta



# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Ejemplo (Modelo limitado de la gramática

1 / 2)

- *Reglas de producción de la gramática que genera frases copulativas*
  - (1) <oración>  $\rightarrow$  <sujeito> **verbo** <atributo>
  - (2) <sujeito>  $\rightarrow$  **artículo nombre**
  - (3) <atributo>  $\rightarrow$  **adjetivo**
- *Componentes léxicos reconocidos por el analizador léxico*
  - **artículo**: *el, la, los, las, un, una.*
  - **nombre**: *hombre, mujer, niño, niña, ....*
  - **verbo**: *es, está, parece, son, estan, parecen, ....*
  - **adjetivo**: *alto, alta, bella, bello, inteligente, ...*

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Ejemplo (Modelo limitado de la gramática)

2 / 2

$\langle \text{oración} \rangle \xRightarrow{1} \underline{\langle \text{sujeto} \rangle \text{ verbo } \langle \text{atributo} \rangle}$

$\xRightarrow{2} \underline{\text{artículo nombre}} \text{ verbo } \langle \text{atributo} \rangle$

$\xRightarrow{3} \text{artículo nombre verbo } \underline{\text{adjetivo}}$

- Esta derivación es *sintácticamente correcta* para las siguientes frases copulativas
  - *Semánticamente correctas*
    - la niña es inteligente
    - la mujer es alta
  - *Semánticamente incorrectas*
    - la hombre parece bella
    - los mujer son inteligente

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

### Ejemplo (Expresiones aritméticas: gramática

1 / 3)

 $P = \{$ 

(1)  $\langle \text{asignación} \rangle \rightarrow \mathbf{identificador} = \langle \text{expresión} \rangle$

(2)  $\langle \text{expresión} \rangle \rightarrow \langle \text{expresión} \rangle + \langle \text{sumando} \rangle$

(3)  $\langle \text{expresión} \rangle \rightarrow \langle \text{sumando} \rangle$

(4)  $\langle \text{sumando} \rangle \rightarrow \langle \text{sumando} \rangle * \langle \text{factor} \rangle$

(5)  $\langle \text{sumando} \rangle \rightarrow \langle \text{factor} \rangle$

(6)  $\langle \text{factor} \rangle \rightarrow \mathbf{número}$

(7)  $\langle \text{factor} \rangle \rightarrow \mathbf{identificador}$

(8)  $\langle \text{factor} \rangle \rightarrow (\langle \text{expresión} \rangle)$

}

## Gramáticas de contexto libre

## Introducción

## Ejemplo (Expresiones aritméticas: derivación)

3 / 3)

$$\langle \text{asignación} \rangle \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = \underline{\langle \text{expresión} \rangle}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{\langle \text{expresión} \rangle} + \underline{\langle \text{sumando} \rangle}$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \underline{\langle \text{sumando} \rangle} + \underline{\langle \text{sumando} \rangle}$$

$$\xRightarrow{4} \text{identificador} = \underline{\langle \text{sumando} \rangle} * \underline{\langle \text{factor} \rangle} + \underline{\langle \text{sumando} \rangle}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \underline{\langle \text{factor} \rangle} * \underline{\langle \text{factor} \rangle} + \underline{\langle \text{sumando} \rangle}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{número}} * \underline{\langle \text{factor} \rangle} + \underline{\langle \text{sumando} \rangle}$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{número} * \underline{\text{identificador}} + \underline{\langle \text{sumando} \rangle}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{número} * \text{identificador} + \underline{\langle \text{factor} \rangle}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{número} * \text{identificador} + \underline{\text{identificador}}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Introducción

**Ejemplo** (Expresiones aritméticas: derivación abreviada 3 / 3)

$\langle \text{asignación} \rangle \xRightarrow{+} \text{identificador} = \text{número} * \text{identificador} + \text{identificador}$

# Contenido de la sección

- 2 Gramáticas de contexto libre
  - Introducción
  - **Definición**
  - Convenios de notación
  - Derivación
  - Árbol sintáctico asociado a una derivación
  - Lenguaje generado por una gramática

# Gramáticas de contexto libre

## Definición

### Definición (Gramática de Contexto Libre)

- $G = (V_N, V_T, P, S)$ 
  - $V_N$ : alfabeto o vocabulario no terminal
  - $V_T$ : alfabeto o vocabulario terminal
  - Se verifica que
$$V_N \cap V_T = \emptyset$$
  - Vocabulario de la gramática
$$V = V_N \cup V_T$$
  - Conjunto de *reglas de producción*
$$P = \{A \rightarrow \alpha \mid A \in V_N \wedge \alpha \in V^* = (V_N \cup V_T)^*\}$$
  - Símbolo inicial
$$S \in V_N$$

# Gramáticas de contexto libre

## Definición

### Notas (Gramática de Contexto Libre)

- $V_N$  también se puede denotar por  $\Sigma_N$  o  $N$
- $V_T$  también se puede denotar por  $\Sigma_T$  o  $T$
- $V$  también se puede denotar por  $\Sigma$
- El símbolo inicial  $S$  también se denomina **axioma** o **símbolo distinguido**
- Si  $A \rightarrow \alpha \in P$  entonces se dice que
  - $A$ : símbolo no terminal de la parte izquierda de la regla.
  - $\alpha$ : parte derecha o alternativa de la regla.



# Gramáticas de contexto libre

## Definición

### Ejemplo (Expresiones aritméticas: gramática

1 / 3)

- $V_N = \{S, E\}$
- $V_T = \{\text{identificador}, =, +, *, (, ), \text{número}\}$
- $P = \{$ 
  - (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$ $\}$

# Gramáticas de contexto libre

## Definición

**Ejemplo** (Expresiones aritméticas: derivación)

2 / 3

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = E + E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + E * E$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * E$$

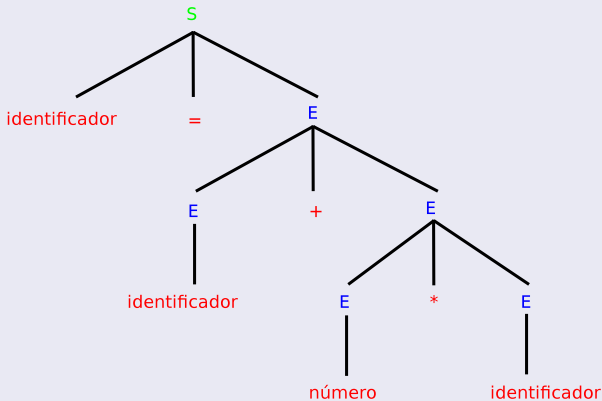
$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Definición

### Ejemplo (Árbol sintáctico asociado a la derivación)

3 / 3



# Gramáticas de contexto libre

## Definición

### Ejemplo (Palíndromo impar: gramática

1 / 3)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \mathbf{a} A \mathbf{a}$
- (2)  $A \rightarrow \mathbf{a} A \mathbf{a}$
- (3)  $A \rightarrow \mathbf{b} B \mathbf{b}$
- (4)  $B \rightarrow \mathbf{b} B \mathbf{b}$
- (5)  $B \rightarrow \mathbf{c}$

$$\}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Definición

### Nota (Palíndromo impar: características)

2 / 3

- Se denomina *palíndromo impar* porque cada palabra se puede **leer igual** de izquierda a derecha que de derecha a izquierda y tiene un elemento central que divide a la palabra.

$$\begin{aligned}L(G) &= \{ a^i b^j \mathbf{c} b^j a^i \mid i, j \geq 1 \} \\ &= \{ \mathbf{a b c b a}, \mathbf{a b b c b b a}, \dots \}\end{aligned}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Definición

### Ejemplo (Palíndromo impar: derivación)

3 / 3

$$S \xRightarrow{1} \underline{a A a}$$
$$\xRightarrow{2} \underline{a a A a a}$$
$$\xRightarrow{3} \underline{a a b B b a a}$$
$$\xRightarrow{4} \underline{a a b b B b b a a}$$
$$\xRightarrow{5} \underline{a a b b c b b a a}$$

# Contenido de la sección

- 2 Gramáticas de contexto libre
  - Introducción
  - Definición
  - **Convenios de notación**
  - Derivación
  - Árbol sintáctico asociado a una derivación
  - Lenguaje generado por una gramática

# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Convenios de notación

1 / 7

#### (1) Símbolos terminales: $V_T$

- **Primeras letras minúsculas** del alfabeto latino:  
a, b, c, ...
- **Operadores** aritméticos, lógicos, relacionales:  
+, -, \*, /, &&, ||, <, >, =, ...
- **Números**:  
0, 1, ..., 9, 1.7, -83,01, 7 i, 2 + 3 i,
- **Palabras reservadas**:  
if, else, for, ...
- **Signos de puntuación**:  
., ;, :, {, }, [, ], (, ), ...



# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Convenios de notación

2 / 7

#### (2) Símbolos no terminales: $V_N$

- **Primeras** letras **mayúsculas** del alfabeto latino:  
A, B, C, ... y la letra S.
- Palabras delimitadas por < y >:  
<oración>, <expresión>, ...

# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Convenios de notación

3 / 7

(3) **Símbolos gramaticales:**  $V = V_N \cup V_T$

- **Últimas** letras **mayúsculas** del alfabeto latino:  
... X, Y, Z

### Ejemplos

$$X = \begin{cases} a \in V_T \\ \text{if} \in V_T \\ A \in V_N \\ \langle \text{sumando} \rangle \in V_N \end{cases}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Convenios de notación

4 / 7

(4) **Cadenas de símbolos gramaticales:**  $V^* = (V_N \cup V_T)^*$

- **Primeras letras minúsculas** del alfabeto griego:

$\alpha, \beta, \dots$

### Ejemplos

$$\alpha = \begin{cases} \epsilon \\ a \\ B \\ aBB \end{cases}$$

**identificador = identificador +  $\langle$  sumando  $\rangle$**

# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Convenios de notación

5 / 7

#### (5) Cadenas de símbolos terminales: $V_T^*$

- **Últimas** letras **minúsculas** del alfabeto latino:  
... , x, y, z

### Ejemplos

$$x = \begin{cases} \epsilon \\ a b b c b b a \\ \text{identificador} = \text{número} * \text{identificador} + \text{identificador} \end{cases}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Convenios de notación

6 / 7

(6) **Palabra vacía:**  $\epsilon$  o  $\lambda$

# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Convenios de notación

7 / 7

#### (7) Agrupamiento de reglas:

- Las reglas

$$(1) A \rightarrow \alpha_1$$

$$(2) A \rightarrow \alpha_2$$

$$\dots$$

$$(n) A \rightarrow \alpha_n$$

- se agrupan de la siguiente forma:

$$A \rightarrow \alpha_1 \mid \alpha_2 \mid \dots \mid \alpha_n$$

# Gramáticas de contexto libre

## Convenios de notación

### Ejemplo (Notación)

$$P = \left\{ \begin{array}{l} S \longrightarrow a A B \\ A \longrightarrow a A b \mid c B d \\ B \longrightarrow c B d \mid c d \end{array} \right\}$$

$$V_N = \{S, A, B\}$$
$$V_T = \{a, b, c, d\}$$

# Contenido de la sección

- 2 Gramáticas de contexto libre
  - Introducción
  - Definición
  - Convenios de notación
  - Derivación
  - Árbol sintáctico asociado a una derivación
  - Lenguaje generado por una gramática



# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Derivación

- Derivación inmediata
- Derivación general
- Derivación por la izquierda
- Derivación por la derecha

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Derivación

- Derivación inmediata
- Derivación general
- Derivación por la izquierda
- Derivación por la derecha

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Definición (Derivación inmediata)

- Sea  $G = (V_N, V_T, P, S)$  una gramática de contexto libre

Si  $\alpha = \delta A \gamma \in V^+$

y  $A \rightarrow \beta \in P$

entonces se obtiene la siguiente **derivación inmediata**

$$\alpha = \delta A \gamma \xRightarrow{(A \rightarrow \beta)} \delta \beta \gamma = \alpha'$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Derivación

- Derivación inmediata
- Derivación general
- Derivación por la izquierda
- Derivación por la derecha

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Definición (Derivación general)

- Sea  $G = (V_N, V_T, P, S)$  una gramática de contexto libre
- Una *derivación general* es una secuencia de cadenas

$$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \in V^*$$

donde  $\forall i \in \{0, 1, \dots, n-1\}$

$\alpha_i$  deriva de forma inmediata a  $\alpha_{i+1}$

$$\alpha_0 \Rightarrow \alpha_1$$

$$\alpha_1 \Rightarrow \alpha_2$$

...

$$\alpha_{n-1} \Rightarrow \alpha_n$$

*Forma equivalente*

$$\alpha_0 \Rightarrow \alpha_1 \Rightarrow \alpha_2 \Rightarrow \dots \Rightarrow \alpha_n$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Nota (Derivación general)

- *La derivación general*

$$\alpha_0 \Longrightarrow \alpha_1 \Longrightarrow \alpha_2 \Longrightarrow \cdots \Longrightarrow \alpha_n$$

*se puede denotar como*

- *derivación en  $n$  pasos:*  $\alpha_0 \xRightarrow{n} \alpha_n$
  - *derivación en cero o más pasos:*  $\alpha_0 \xRightarrow{*} \alpha_n$
  - *derivación en uno o más pasos:*  $\alpha_0 \xRightarrow{+} \alpha_n$
- $\forall \alpha \in V^*$  se verifica que

$$\alpha \xRightarrow{0} \alpha$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación: gramática)

1 / 8

- $V_N = \{S, E\}$
- $V_T = \{\text{identificador}, =, +, *, (, ), \text{número}\}$
- $P = \{$ 
  - (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$ $\}$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación)

2 / 8

$$E \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$



## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

## Ejemplo (Derivación)

3 / 8)

$$\underbrace{\epsilon}_{\delta} \underbrace{E}_A \underbrace{\epsilon}_{\gamma} \xRightarrow{1} \underbrace{\epsilon}_{\delta} \underbrace{\text{identificador} = E}_{\beta} \underbrace{\epsilon}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación)

4 / 8

$$E \xRightarrow{1} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = \underbrace{E}_A \underbrace{\epsilon}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{3} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = \underbrace{E * E}_{\beta} \underbrace{\epsilon}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

## Ejemplo (Derivación)

5 / 8

$$E \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{3} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = E * \underbrace{E}_A \underbrace{\epsilon}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{6} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = E * \underbrace{\text{identificador}}_{\beta} \underbrace{\epsilon}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

## Ejemplo (Derivación)

6 / 8

$$E \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E * E$$

$$\xRightarrow{6} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = \underbrace{E}_{A} * \underbrace{\text{identificador}}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{2} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = \underbrace{E+E}_{\beta} * \underbrace{\text{identificador}}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

## Ejemplo (Derivación)

7 / 8

$$E \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underbrace{E}_{\delta} + \underbrace{E}_A * \underbrace{\text{identificador}}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \underbrace{E}_{\delta} + \underbrace{\text{número}}_{\beta} * \underbrace{\text{identificador}}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación)

8 / 8

$$E \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = \underbrace{E}_A + \underbrace{\text{número} * \text{identificador}}_{\gamma}$$

$$\xRightarrow{6} \underbrace{\text{identificador}}_{\delta} = \underbrace{\text{identificador}}_{\beta} + \underbrace{\text{número} * \text{identificador}}_{\gamma}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Gramática

1 / 2

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \mathbf{a A a}$
- (2)  $A \rightarrow \mathbf{a A a}$
- (3)  $A \rightarrow \mathbf{b B b}$
- (4)  $B \rightarrow \mathbf{b B b}$
- (5)  $B \rightarrow \mathbf{c}$

$$\}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación)

2 / 2)

$$\begin{aligned} S &\xRightarrow{1} \mathbf{a} \underline{A} \mathbf{a} \\ &\xRightarrow{2} \mathbf{a} \mathbf{a} \underline{A} \mathbf{a} \mathbf{a} \\ &\xRightarrow{3} \mathbf{a} \mathbf{a} \mathbf{b} \underline{B} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{a} \\ &\xRightarrow{4} \mathbf{a} \mathbf{a} \mathbf{b} \mathbf{b} \underline{B} \mathbf{b} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{a} \\ &\xRightarrow{5} \mathbf{a} \mathbf{a} \mathbf{b} \mathbf{b} \underline{c} \mathbf{b} \mathbf{b} \mathbf{a} \mathbf{a} \in V_T^* \end{aligned}$$



# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Derivación

- Derivación inmediata
- Derivación general
- Derivación por la izquierda
- Derivación por la derecha

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Definición (Derivación inmediata por la izquierda)

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

Si  $A \rightarrow \beta \in P$  y  $\alpha = x A \gamma$

entonces la derivación inmediata por la izquierda se define como:

$$\alpha = x A \gamma \xRightarrow{(A \rightarrow \beta)} x \underline{\beta} \gamma = \alpha'$$

donde

- $x \in V_T^*$
- $A \in V_N$
- $\beta, \gamma \in V^*$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Nota (Derivación inmediata por la izquierda)

*Siempre se procesa el símbolo **no terminal** situado más a la izquierda.*

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Definición (Derivación por la izquierda)

- Una derivación es por la izquierda si todas sus derivaciones inmediatas son por la izquierda.

$$\begin{array}{l} \alpha_0 \quad \xRightarrow{\quad} \alpha_1 \\ \alpha_1 \quad \xRightarrow{\quad} \alpha_2 \\ \dots \end{array}$$

$$\alpha_{n-1} \xRightarrow{\quad} \alpha_n$$

que es equivalente a

$$\alpha_0 \xRightarrow{\quad} \alpha_1 \xRightarrow{\quad} \alpha_2 \xRightarrow{\quad} \dots \xRightarrow{\quad} \alpha_n$$

$$\alpha_0 \xRightarrow{\quad}^* \alpha_n$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación por la izquierda: gramática 1 / 8)

- $V_N = \{S, E\}$
- $V_T = \{\text{identificador}, =, +, *, (, ), \text{número}\}$
- $P = \{$ 
  - (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$ $\}$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 8

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

Ejemplo (Derivación por la izquierda)

3 / 8

$$\underbrace{\epsilon}_x \underbrace{S}_A \underbrace{\epsilon}_\gamma \xRightarrow{1} \underbrace{\epsilon}_x \underbrace{\text{identificador} = E}_\beta \underbrace{\epsilon}_\gamma$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

4 / 8

$$S \xrightarrow{1} \underbrace{\text{identificador}}_x = \underbrace{E}_A \underbrace{\epsilon}_\gamma$$

$$\xrightarrow{2} \underbrace{\text{identificador}}_x = \underbrace{E+E}_\beta \underbrace{\epsilon}_\gamma$$

$$\xrightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + E$$

$$\xrightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{E * E}$$

$$\xrightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} * E$$

$$\xrightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$



## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

## Ejemplo (Derivación por la izquierda)

5 / 8

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = \underline{E}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underbrace{E}_x + \underbrace{E}_\gamma$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underbrace{\text{identificador}}_x + \underbrace{\text{identificador}}_\beta + \underbrace{E}_\gamma$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

## Ejemplo (Derivación por la izquierda)

6 / 8)

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = E + E$$

$$\xRightarrow{6} \underbrace{\text{identificador} = \text{identificador}}_x + \underbrace{E}_A \underbrace{\epsilon}_\gamma$$

$$\xRightarrow{6} \underbrace{\text{identificador} = \text{identificador}}_x + \underbrace{E * E}_\beta \underbrace{\epsilon}_\gamma$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador}$$

## Gramáticas de contexto libre

## Derivación

## Ejemplo (Derivación por la izquierda)

7 / 8)

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = \underline{E}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underbrace{\text{identificador}}_x + \underbrace{E}_A \underbrace{*E}_\gamma$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \underbrace{\text{identificador}}_x + \underbrace{\text{número}}_\beta \underbrace{*E}_\gamma$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

8 / 8

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = \underline{E}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{5} \underbrace{\text{identificador} = \text{identificador} + \text{número}}_x * \underbrace{E}_A \underbrace{\epsilon}_\gamma$$

$$\xRightarrow{6} \underbrace{\text{identificador} = \text{identificador} + \text{número}}_x * \underbrace{\text{identificador}}_\beta \underbrace{\epsilon}_\gamma$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Nota

- *Lo deseable es que la gramática sólo tenga **una derivación por la izquierda** para cada cadena de símbolos terminales.*
- ***En caso contrario**, la gramática sería **ambigua**.*

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Derivación

- Derivación inmediata
- Derivación general
- Derivación por la izquierda
- Derivación por la derecha

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Definición (Derivación inmediata por la derecha)

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

Si  $A \rightarrow \beta \in P$  y  $\alpha = x A \gamma$

entonces la derivación inmediata por la *derecha* se define como:

$$\alpha = \delta A y \xRightarrow{(A \rightarrow \beta)} \delta \underline{\beta} y = \alpha'$$

donde

- $y \in V_T^*$
- $A \in V_N$
- $\beta, \delta \in V^*$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Nota (Derivación inmediata por la derecha)

*Siempre se procesa el símbolo **no terminal** situado más a la derecha.*



# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Definición (Derivación por la izquierda)

- Una derivación es por la derecha si todas sus derivaciones inmediatas son por la derecha.

$$\alpha_0 \xRightarrow{\quad} \alpha_1$$

$$\alpha_1 \xRightarrow{D} \alpha_2$$

...

$$\alpha_{n-1} \xRightarrow{D} \alpha_n$$

que es equivalente a

$$\alpha_0 \xRightarrow{D} \alpha_1 \xRightarrow{D} \alpha_2 \xRightarrow{D} \dots \xRightarrow{D} \alpha_n$$

$$\alpha_0 \xRightarrow{D^*} \alpha_n$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Gramática

1 / 2)

- $V_N = \{S, E\}$
- $V_T = \{\text{identificador}, =, +, *, (, ), \text{número}\}$
- $P = \{$ 
  - (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$ $\}$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Ejemplo (Derivación por la derecha)

2 / 2

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = \underline{E}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Gramáticas de contexto libre

## Derivación

### Nota

- *Lo deseable es que la gramática sólo tenga **una derivación por la derecha** para cada cadena de símbolos terminales.*
- ***En caso contrario**, la gramática sería **ambigua**.*

# Contenido de la sección

- 2 Gramáticas de contexto libre
  - Introducción
  - Definición
  - Convenios de notación
  - Derivación
  - **Árbol sintáctico asociado a una derivación**
  - Lenguaje generado por una gramática

# Gramáticas de contexto libre

## Árbol sintáctico asociado a una derivación

### Árbol sintáctico asociado a una derivación

- (1) Los **nodos** del árbol están etiquetados con **símbolos** del vocabulario de la gramática ( $V$ ) o la **palabra vacía**  $\epsilon$
- (2) La **raíz** está etiquetada con el símbolo inicial:  $S \in V_N$
- (3) Si un nodo tiene, al menos un **descendiente**, entonces le corresponde un símbolo **no** terminal:  $A \in V_N$
- (4) Si un nodo está etiquetado con un símbolo  $A$  y se ha aplicado la regla  $A \rightarrow X_1 X_2 \dots X_n \in P$  entonces  $A$  tiene  $n$  **descendientes**:

$$X_1, X_2 \dots X_n \in V^* = (V_N \cup V_T)^*$$

# Gramáticas de contexto libre

Árbol sintáctico asociado a una derivación

## Ejemplo (Gramática)

1 / 2

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \mathbf{a A b}$
- (2)  $A \rightarrow \mathbf{a A b}$
- (3)  $A \rightarrow \mathbf{c B d}$
- (4)  $B \rightarrow \mathbf{c d}$

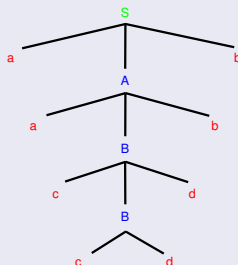
$$\}$$

## Gramáticas de contexto libre

Árbol sintáctico asociado a una derivación

## Ejemplo (Árbol de derivación)

2 / 2

$$\begin{aligned}
 S &\xRightarrow{1} \mathbf{a} \mathbf{A} \mathbf{b} \\
 &\xRightarrow{2} \mathbf{a} \mathbf{a} \mathbf{A} \mathbf{b} \mathbf{b} \\
 &\xRightarrow{3} \mathbf{a} \mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{B} \mathbf{d} \mathbf{b} \mathbf{b} \\
 &\xRightarrow{4} \mathbf{a} \mathbf{a} \mathbf{c} \mathbf{c} \mathbf{d} \mathbf{d} \mathbf{b} \mathbf{b}
 \end{aligned}$$




# Contenido de la sección

- 2 Gramáticas de contexto libre
  - Introducción
  - Definición
  - Convenios de notación
  - Derivación
  - Árbol sintáctico asociado a una derivación
  - Lenguaje generado por una gramática

# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Definición (Lenguaje generado por una gramática)

- Si  $G = (V_N, V_T, P, S)$  es una gramática de contexto libre entonces el lenguaje que genera se define como

$$L(G) = \{x \mid x \in V_T^* \wedge S \xrightarrow{+}_G x\}$$

# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Ejemplo (Lenguaje generado por una gramática)

$$P = \{$$
$$(1) S \rightarrow a A b$$
$$(2) A \rightarrow a A b$$
$$(3) A \rightarrow c B d$$
$$(4) B \rightarrow c B d$$
$$(5) B \rightarrow c d$$
$$\}$$
$$L(G) = \{a^i c^j d^j b^i \mid i \geq 1 \wedge j \geq 2\} = \{accddb, \dots\}$$

# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Notas (Lenguaje generado por una gramática)

- *No existe ningún algoritmo general que permite **comprobar** cuál es el lenguaje generado por una gramática de contexto libre.*
- *No existe ningún algoritmo general que permita **diseñar** una gramática de contexto libre que genere un lenguaje predefinido.*
- *Se debe tener en cuenta la **experiencia** y el **sentido común**.*

# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Ejercicio (Diseño de gramáticas de contexto libre 1 / 5)

- *Diseña una gramática de contexto libre que permita generar algunas declaraciones variables del lenguaje C*

```
int a, b;
```

```
float x;
```

# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Ejercicio (Diseño de gramáticas de contexto libre

2 / 5)

- *Declaraciones de punteros del lenguaje C*

```
int *a, **b. c;
```

```
float x, *y, **z;
```

# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Ejercicio (Diseño de gramáticas de contexto libre

3 / 5)

- *Declaraciones de arrays del lenguaje C*

```
int a[5], b[10][2];  
float x[10], m[3][3];
```

# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Ejercicio (Diseño de gramáticas de contexto libre

4 / 5)

- *Declaraciones de arrays de punteros del lenguaje C*

```
int *a[5], **b[10][2];  
float *p[10], *m[3][3];
```



# Gramáticas de contexto libre

Lenguaje generado por una gramática

## Ejercicio (Diseño de gramáticas de contexto libre 5 / 5)

- *Declaraciones de prototipos de funciones del lenguaje C*

```
int f();  
int g(int a);  
int *h(int a, int *b);
```

# Ambigüedad

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad**
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Ambigüedad

- 3 Ambigüedad
  - Gramática ambigua
  - Lenguaje intrínsecamente ambiguo

# Contenido de la sección

- 3 Ambigüedad
  - Gramática ambigua
  - Lenguaje intrínsecamente ambiguo

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Definición (Ambigüedad)

Una gramática de contexto libre es *ambigua* si cumple alguna de las siguientes condiciones:

- 1.- Existe una cadena que posee *dos derivaciones por la izquierda* diferentes.
- 2.- Existe una cadena que posee *dos derivaciones por la derecha* diferentes.
- 3.- Existe una cadena que posee *dos árboles sintácticos* diferentes.

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Notas (Ambigüedad)

- *No existe un algoritmo general para comprobar si una gramática es ambigua o no.*
- *Se deben hacer comprobaciones particulares.*
- *Hay gramáticas ambiguas que se pueden transformar en otras que no lo son.*
- *Se debe evitar el uso de gramáticas ambiguas porque dificultan o impiden el análisis sintáctico.*

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (Gramática ambigua)

1 / 6

La gramática de las expresiones aritméticas es *ambigua*.

- $$P = \{$$
- (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$
- $$\}$$

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (Gramática ambigua)

2 / 6)

*La asignación*

**identificador = identificador + número \* identificador**

*puede ser generada por **dos** derivaciones por la izquierda diferentes*



# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (Gramática ambigua)

3 / 6

#### Primera derivación por la izquierda

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} * E$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (Gramática ambigua)

4 / 6

#### Segunda derivación por la izquierda

$$E \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E} * E$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + E * E$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} * E$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Nota (Gramática ambigua)

5 / 6

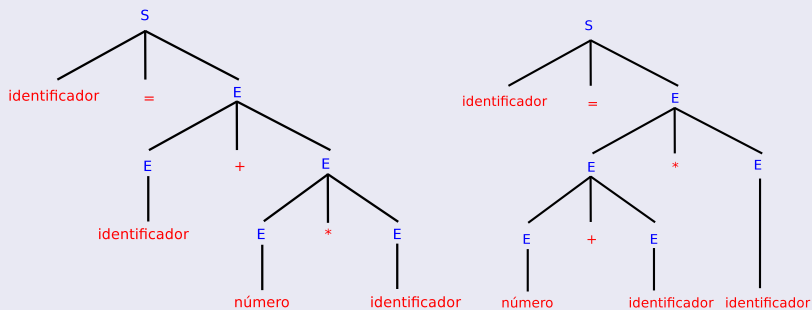
- La *primera* derivación es *correcta* porque tiene en cuenta la *prioridad* de los operadores aritméticos.
- El producto (\*) tiene mayor prioridad que la suma (+).

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (Gramática ambigua: árboles sintácticos)

6 / 6



# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (Gramática no ambigua)

1 / 3

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
- (2)  $E \rightarrow E + T$
- (3)  $E \rightarrow T$
- (4)  $T \rightarrow T * F$
- (5)  $T \rightarrow F$
- (6)  $F \rightarrow ( E )$
- (7)  $F \rightarrow \text{identificador}$
- (8)  $F \rightarrow \text{número}$

$$\}$$

# Ambigüedad

Gramática ambigua

## Ejemplo (Gramática no ambigua)

2 / 3

*Derivación por la izquierda*

$$S \xrightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = \underline{E} \xrightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E} + T$$

$$\xrightarrow{3} \text{identificador} = \underline{T} + T \xrightarrow{5} \text{identificador} = \underline{F} + T$$

$$\xrightarrow{7} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + T$$

$$\xrightarrow{4} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{T} * F$$

$$\xrightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F} * F$$

$$\xrightarrow{8} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} * F$$

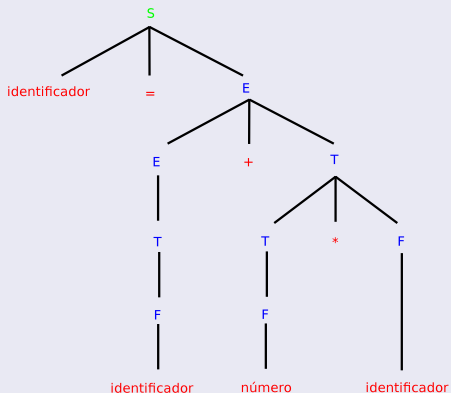
$$\xrightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (Gramática no ambigua: árbol sintáctico)

3 / 3



# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (El problema del 'else danzante')

1 / 8

 $P = \{$ 

...

(1)  $S \rightarrow \text{if } C S$ (2)  $S \rightarrow \text{if } C S \text{ else } S$ (3)  $S \rightarrow I$ 

...

 $\}$ *donde*

- *S genera sentencias de control*
- *C genera expresiones condicionales*
- *I genera otras sentencias, por ejemplo, de asignación.*



# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (El problema del 'else danzante')

2 / 8)

- *Esta gramática es ambigua porque la sentencia*

**if C if C S else S**

*puede ser generada por dos derivaciones que tienen asociados  
árboles sintácticos diferentes.*

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (El problema del 'else danzante')

3 / 8)

- *Primera derivación*

$$S \xRightarrow{1} \text{if } C \ S \xRightarrow{2} \text{if } C \ \text{if } C \ S \ \text{else } S$$

- *Segunda derivación*

$$S \xRightarrow{2} \text{if } C \ S \ \text{else } S \xRightarrow{1} \text{if } C \ \text{if } C \ S \ \text{else } S$$

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Nota (El problema del 'else danzante')

4 / 8

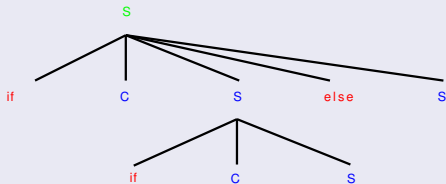
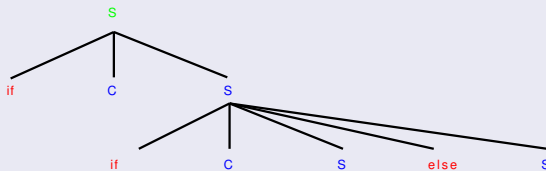
- La *primera* derivación es *correcta* porque asocia el **else** al **if** más cercano.

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (El problema del 'else danzante')

5 / 8



# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (El problema del 'else danzante')

6 / 8

- *Solución: asociar cada **else** con el **if** más cercano*

...

$$(1) S \rightarrow S_1$$

$$(2) S \rightarrow S_2$$

$$(3) S_1 \rightarrow \text{if } C S_1 \text{ else } S_1$$

$$(4) S_1 \rightarrow I$$

$$(5) S_2 \rightarrow \text{if } C S$$

$$(6) S_2 \rightarrow \text{if } C S_1 \text{ else } S_2$$

...

donde

- $S_1$  genera la sentencia **if emparejada**
- $S_2$  genera la sentencia **if no emparejada.**

# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (El problema del 'else danzante')

7 / 8

- Derivación

$$\begin{array}{l}
 S \xRightarrow{2} \underline{S_2} \\
 \xRightarrow{5} \text{if } C \underline{S} \\
 \xRightarrow{1} \text{if } C \underline{S_1} \\
 \xRightarrow{3} \text{if } C \text{ if } C \underline{S_1} \text{ else } S_2
 \end{array}$$

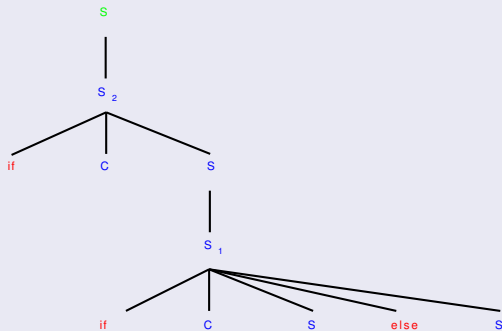
# Ambigüedad

## Gramática ambigua

### Ejemplo (El problema del 'else danzante')

8 / 8

Árbol sintáctico que asocia **else** al **if** más cercano.



# Contenido de la sección

- 3 Ambigüedad
  - Gramática ambigua
  - Lenguaje intrínsecamente ambiguo



# Ambigüedad

## Lenguaje intrínsecamente ambiguo

### Definición (Lenguaje intrínsecamente ambiguo)

Un lenguaje es *intrínsecamente ambiguo* si todas las gramáticas que lo generan son ambiguas.

$$L = L(G_1) = L(G_2) = \dots = L(G_N)$$

donde  $G_1, G_2, \dots, G_N$  ambiguas

# Ambigüedad

## Lenguaje intrínsecamente ambiguo

**Ejemplo** (Lenguaje intrínsecamente ambiguo)

1 / 4

$$L = \{a^i b^i c^j \mid i, j \geq 1\} \cup \{a^i b^j c^j \mid i, j \geq 1\}$$

*L solamente puede ser generado por gramáticas ambiguas.*

# Ambigüedad

## Lenguaje intrínsecamente ambiguo

### Ejemplo (Lenguaje intrínsecamente ambiguo)

2 / 4)

- Una gramática que genera el lenguaje  $L$

$$P = \left\{ \begin{array}{ll} (1) & S \longrightarrow AC \\ (2) & S \longrightarrow BD \\ (3) & A \longrightarrow aAb \\ (4) & A \longrightarrow ab \\ (5) & C \longrightarrow cC \\ (6) & C \longrightarrow c \\ (7) & B \longrightarrow aB \\ (8) & B \longrightarrow a \\ (9) & D \longrightarrow bDc \\ (10) & D \longrightarrow bc \\ & \} \end{array} \right.$$

# Ambigüedad

## Lenguaje intrínsecamente ambiguo

### Ejemplo (Lenguaje intrínsecamente ambiguo)

3 / 4

- *La gramática G es ambigua*

*Primera derivación*

$$\begin{aligned}
 S &\xRightarrow{1} \underline{A C} \\
 &\xRightarrow{4} \underline{a b} C \\
 &\xRightarrow{6} \underline{a b c}
 \end{aligned}$$

*Segunda derivación*

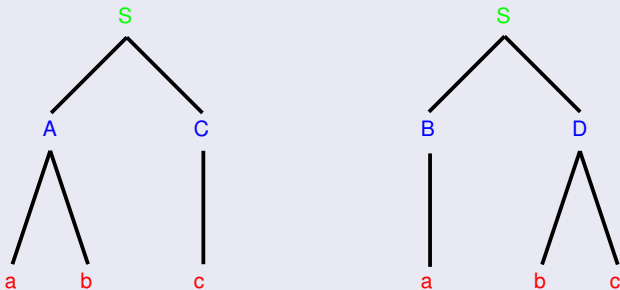
$$\begin{aligned}
 S &\xRightarrow{2} \underline{B D} \\
 &\xRightarrow{8} \underline{a} D \\
 &\xRightarrow{10} \underline{a b c}
 \end{aligned}$$

# Ambigüedad

Lenguaje intrínsecamente ambiguo

Ejemplo (Lenguaje intrínsecamente ambiguo)

4 / 4



*Árboles sintácticos diferentes*

# Operaciones de limpieza

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza**
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Operaciones de limpieza

- 4 Operaciones de limpieza
  - Símbolos útiles e inútiles
  - Reglas superfluas
  - Gramática propia

# Contenido de la sección

- 4 Operaciones de limpieza
  - Símbolos útiles e inútiles
  - Reglas superfluas
  - Gramática propia



# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Definición (Símbolo útil)

Sea  $X \in V = V_N \cup V_T$

Se dice que  $X$  es **útil** si es un símbolo *accesible* y *generador*.

es decir, el símbolo  $X$  aparece al menos en una derivación de una cadena perteneciente al lenguaje generado por la gramática

$$\exists S \xRightarrow{*} \alpha X \beta \xRightarrow{*} x_1 x_2 x_3 = x \in L(G)$$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Símbolos útiles

- Símbolos generadores
- Símbolos accesibles

# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Definición (Símbolo generador)

Sea  $X \in V = V_N \cup V_T$

se dice que  $X$  es *generador* si

$$\exists X \xrightarrow[G]{*} x \in V_T^*$$

### Notas

- Si  $X = A \in V_N$  entonces  $A$  es *generador* si y solamente si  $L(G_A) \neq \emptyset$
- Si  $X = a \in V_T$  entonces  $a$  es *generador* porque  $a \xrightarrow{0} a$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Algoritmo (Selección de símbolos generadores

1 / 2)

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$   
*Gramática de contexto libre.*

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$   
*Gramática de contexto libre **sin** símbolos **no generadores**.*

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Algoritmo (Selección de símbolos generadores

2 / 2)

**inicio**

$Viejo \leftarrow \emptyset$

$Nuevo \leftarrow \{A \mid A \in V_N \wedge \exists A \rightarrow x \in P \wedge x \in V_T^*\}$

**mientras** ( $Nuevo \neq Viejo$ ) **hacer**

$Viejo \leftarrow Nuevo$

$Nuevo \leftarrow Viejo \cup \{A \mid A \in V_N \wedge \exists A \rightarrow \alpha \in P$   
 $\wedge \alpha \in (Viejo \cup V_T)^*\}$

**fin\_mientras**

$V'_N \leftarrow Nuevo$

$P' \leftarrow \{A \rightarrow \alpha \mid A \rightarrow \alpha \in P \wedge A \in V'_N \wedge \alpha \in (V'_N \cup V_T)^*\}$

**fin**

# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Nota (Selección de símbolos generadores)

*Las reglas de la gramática  $G'$  se obtienen a partir de las reglas de la gramática  $G$  que sólo tienen símbolos generadores.*

$$P' \leftarrow \{A \rightarrow \alpha \mid A \rightarrow \alpha \in P \wedge A \in V'_N \wedge \alpha \in (V'_N \cup V_T)^*\}$$

# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Nota (Selección de símbolos generadores)

- Una gramática de contexto libre genera un lenguaje *no vacío* si y solamente si su *símbolo inicial* es un *símbolo generador*.

$$L(G) \neq \emptyset \iff S \in \text{Generadores}$$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos generadores)

1 / 7

$$G = (V_N, V_T, P, S)$$

$$V_N = \{S, A, B, C, D, E, F\}$$

$$V_T = \{a, b, c, d, e\}$$

$$P = \{$$

$$(1) S \rightarrow A B$$

$$(2) S \rightarrow A b$$

$$(3) A \rightarrow a C$$

$$(4) B \rightarrow b C a$$

$$(5) B \rightarrow D b E$$

$$(6) C \rightarrow b$$

$$(7) D \rightarrow F b$$

$$(8) E \rightarrow c a e$$

$$(9) F \rightarrow a D d$$

$$\}$$



# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos generadores

2 / 7)

- *Alternativas compuestas solamente por símbolos terminales*

$$(6) C \rightarrow b$$

$$(8) E \rightarrow c a e$$

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{C, E\}$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos generadores

3 / 7)

- Alternativas compuestas por símbolos *terminales* o de *Viejo*

$$(3) A \rightarrow a C$$

$$(4) B \rightarrow b C a$$

$$(6) C \rightarrow b$$

$$(8) E \rightarrow c a e$$

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{C, E\}$
1	$\{C, E\}$	$\{A, B, C, E\}$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos generadores

4 / 7)

- Alternativas compuestas por símbolos *terminales* o de *Viejo*

- (1)  $S \rightarrow A B$
- (2)  $S \rightarrow A b$
- (3)  $A \rightarrow a C$
- (4)  $B \rightarrow b C a$
- (6)  $C \rightarrow b$
- (8)  $E \rightarrow c a e$

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{C, E\}$
1	$\{C, E\}$	$\{A, B, C, E\}$
2	$\{A, B, C, E\}$	$\{S, A, B, C, E\}$

## Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos generadores

5 / 7)

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	{C, E}
1	{C, E}	{A, B, C, E}
2	{A, B, C, E}	{S, A, B, C, E}
3	{S, A, B, C, E}	{S, A, B, C, E}

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos generadores)

6 / 7

$$V'_N = \{S, A, B, C, E\}$$

$$V_T = \{a, b, c, d, e\}$$

$$P' = \{$$

$$(1') S \rightarrow A B$$

$$(2') S \rightarrow A b$$

$$(3') A \rightarrow a C$$

$$(4') B \rightarrow b C a$$

$$(5') C \rightarrow b$$

$$(6') E \rightarrow c a e$$

$$\}$$

# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Nota (Selección de símbolos generadores

7 / 7)

- *Se han suprimido*
  - *Símbolos no terminales:  $D, F$*
  - *Reglas de producción*
    - (5)  $B \rightarrow D b E$
    - (7)  $D \rightarrow F b$
    - (9)  $F \rightarrow a D d$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Símbolos útiles

- Símbolos generadores
- Símbolos accesibles

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Definición (Símbolo accesible)

Sea  $X \in V = V_N \cup V_T$

se dice que  $X$  es *accesible* si

$$\exists S \xrightarrow[G]{*} \alpha X \beta$$

donde  $\alpha, \beta \in V^*$



# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Algoritmo (Selección de símbolos accesibles)

1 / 2

- **Entrada**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$

- Gramática de contexto libre sin símbolos no generadores.*

- **Salida**

- $G'' = (V''_N, V'_T, P'', S)$

- Gramática de contexto libre sin símbolos no accesibles.*

## Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Algoritmo (Selección de símbolos accesibles

2 / 2)

**inicio** $Viejo \leftarrow \{S\}$  $Nuevo \leftarrow \{X \mid X \in (V'_N \cup V_T)\}$  $\wedge \exists S \rightarrow \alpha X \beta \in P' \wedge \alpha, \beta \in (V'_N \cup V_T)^*\}$ **mientras** ( $Nuevo \neq Viejo$ ) **hacer** $Viejo \leftarrow Nuevo$  $Nuevo \leftarrow Viejo \cup \{X \mid \exists A \rightarrow \alpha X \beta \in P' \wedge A \in Viejo$  $\wedge X \in (V'_N \cup V_T) \wedge \alpha, \beta \in (V'_N \cup V_T)^*\}$ **fin\_mientras** $V''_N \leftarrow Nuevo \cap V'_N$  $V'_T \leftarrow Nuevo \cap V_T$  $P'' \leftarrow \{A \rightarrow \alpha \mid A \rightarrow \alpha \in P' \wedge A \in V''_N \wedge \alpha \in (V''_N \cup V'_T)^*\}$ **fin**

# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Nota (Selección de símbolos accesibles)

*Las reglas de la gramática  $G''$  se obtienen a partir de las reglas de la gramática  $G'$  que sólo tienen **símbolos accesibles**.*

$$P'' \leftarrow \{A \rightarrow \alpha \mid A \rightarrow \alpha \in P' \wedge A \in V''_N \wedge \alpha \in (V''_N \cup V'_T)^*\}$$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos accesibles)

1 / 6

Gramática *sin* símbolos *no* generadores.

$$V'_N = \{S, A, B, C, E\}$$

$$V_T = \{a, b, c, d, e\}$$

$$P' = \{ \\ (1') S \rightarrow A B \\ (2') S \rightarrow A b \\ (3') A \rightarrow a C \\ (4') B \rightarrow b C a \\ (5') C \rightarrow b \\ (6') E \rightarrow c a e \\ \}$$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos accesibles)

2 / 6

- Reglas del símbolo inicial  $S$

$$(1') S \rightarrow A B$$

$$(2') S \rightarrow A b$$

Paso	Viejo	Nuevo
0	{S}	{S, A, B, b}

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos accesibles)

3 / 6

- Reglas de los símbolos no terminales de *Viejo*

$$(1') S \rightarrow A B$$

$$(2') S \rightarrow A b$$

$$(3') A \rightarrow a C$$

$$(4') B \rightarrow b C a$$

Paso	Viejo	Nuevo
0	{S}	{S, A, B, b}
1	{S, A, B, b}	{S, A, B, C, a, b}

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos accesibles)

4 / 6

- Reglas de los símbolos no terminales de *Viejo*

$$(1') S \rightarrow A B$$

$$(2') S \rightarrow A b$$

$$(3') A \rightarrow a C$$

$$(4') B \rightarrow b C a$$

$$(5') C \rightarrow b$$

Paso	Viejo	Nuevo
0	{S}	{S, A, B, b}
1	{S, A, B, b}	{S, A, B, C, a, b}
2	{S, A, B, C, a, b}	{S, A, B, C, a, b}

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Selección de símbolos accesibles)

5 / 6

$$\begin{aligned} V''_N &= V'_N \cap \text{Nuevo} \\ &= \{S, A, B, C\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V'_T &= V_T \cap \text{Nuevo} \\ &= \{a, b\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P'' &= \{ \\ (1') & S \rightarrow A B \\ (2') & S \rightarrow A b \\ (3') & A \rightarrow a C \\ (4') & B \rightarrow b C a \\ (5') & C \rightarrow b \\ & \} \end{aligned}$$



# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Nota (Selección de símbolos accesibles

6 / 6)

- *Se han suprimido*
  - *Símbolo no terminal:  $E$*
  - *Símbolos terminales:  $c, d, e$*
  - *Regla de regla*  
(6')  $E \rightarrow c a e$

# Operaciones de limpieza

## Símbolos útiles e inútiles

### Nota (Orden de aplicación de los algoritmos)

- *Los algoritmos se deben aplicar en el siguiente orden:*
  - 1º *Selección de símbolos generadores*
  - 2º *Selección de símbolos accesibles*
- *Si se aplican en el **orden inverso** entonces **no** se garantiza que la gramática resultante tenga todos sus símbolos accesibles.*

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Orden incorrecto de los algoritmos de limpieza 1 / 4)

$$G = (V_N, V_T, P, S)$$

$$V_N = \{S, A, B, C, D, E, F\}$$

$$V_T = \{a, b, c, d, e\}$$

$$P = \{$$

$$(1) S \rightarrow A B$$

$$(2) S \rightarrow A b$$

$$(3) A \rightarrow a C$$

$$(4) B \rightarrow b C a$$

$$(5) B \rightarrow D b E$$

$$(6) C \rightarrow b$$

$$(7) D \rightarrow F b$$

$$(8) E \rightarrow c a e$$

$$(9) F \rightarrow a D d$$

$$\}$$

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Orden incorrecto de los algoritmos de limpieza 2 / 4)

*Selección de símbolos **acesibles***

Paso	Viejo	Nuevo
0	{S}	{S, A, B, b}
1	{S, A, B, b}	{S, A, B, C, D, E, a, b}
2	{S, A, B, C, D, E, a, b}	{S, A, B, C, D, E, F, a, b, c}
3	{S, A, B, C, D, E, F, a, b, c, d, e}	{S, A, B, C, D, E, F, a, b, c, d, e}

## Nota

*No se ha eliminado ningún símbolo.*

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

**Ejemplo** (Orden incorrecto de los algoritmos de limpieza 3 / 4)

*Selección de símbolos generadores*

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	{C, E}
1	{C, E}	{A, B, C, E}
2	{A, B, C, E}	{S, A, B, C, E}
3	{S, A, B, C, E}	{S, A, B, C, E}

## Nota

*Se han eliminado los símbolos no terminales **D** y **F**.*

# Operaciones de limpieza

Símbolos útiles e inútiles

## Ejemplo (Orden incorrecto de los algoritmos de limpieza 4 / 4)

$$G = (V_N, V_T, P, S)$$

$$V_N = \{S, A, B, C, E\}$$

$$V_T = \{a, b, c, d, e\}$$

$$P = \{$$

$$(1) S \rightarrow A B$$

$$(2) S \rightarrow A b$$

$$(3) A \rightarrow a C$$

$$(4) B \rightarrow b C a$$

$$(6) C \rightarrow b$$

$$(8) E \rightarrow c a e$$

$$\}$$

## Nota

Los símbolos  $E$ ,  $c$ ,  $d$  y  $e$  no son accesibles.

# Contenido de la sección

- 4 Operaciones de limpieza
  - Símbolos útiles e inútiles
  - Reglas superfluas
  - Gramática propia

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Tipos de reglas superfluas

#### (1) Regla unitaria

$$A \rightarrow B \in P$$

donde  $A, B \in V_N$

#### (2) Regla épsilon

$$A \rightarrow \epsilon \in P$$

donde  $A \in V_N$



# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Nota (Reglas superfluas: características)

- Las **reglas unitarias** y las reglas  $\epsilon$ 
  - *Ralentizan la derivación*
  - *Pueden facilitar el diseño de la gramática.*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ )

1 / 3)

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

 $P = \{$ 

(1)  $S \rightarrow A B C$

(2)  $A \rightarrow a A$

(3)  $A \rightarrow \epsilon$

(4)  $B \rightarrow b B$

(5)  $B \rightarrow \epsilon$

(6)  $C \rightarrow c C$

(7)  $C \rightarrow \epsilon$

 $\}$ 

$$L(G) = \{a^i b^j c^k \mid i, j, k \geq 0\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Obtención de una gramática sin  $\epsilon$ )

2 / 3

$$S \xrightarrow{1} \underline{A} B C$$

$$\xrightarrow{3} \underline{\epsilon} B C = B C$$

$$\xrightarrow{5} \underline{\epsilon} C = C$$

$$\xrightarrow{7} \underline{\epsilon}$$

## Nota

*Sería mejor usar la regla*

$$S \rightarrow \epsilon$$

*y obtener la derivación*

$$S \Rightarrow \epsilon$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ )

3 / 3

*Si se reescribe el conjunto de reglas de la gramática*

- $$P' = \{$$
- |                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| (1) $S \rightarrow \epsilon$ | (8) $S \rightarrow A B C$ |
| (2) $S \rightarrow A$        | (9) $A \rightarrow a A$   |
| (3) $S \rightarrow B$        | (10) $A \rightarrow a$    |
| (4) $S \rightarrow C$        | (11) $B \rightarrow b B$  |
| (5) $S \rightarrow A B$      | (12) $B \rightarrow b$    |
| (6) $S \rightarrow A C$      | (13) $C \rightarrow c C$  |
| (7) $S \rightarrow B C$      | (14) $C \rightarrow c$    |
- $$\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Definición (Gramática sin $\epsilon$ )

Una **gramática** es **sin**  $\epsilon$  si cumple una de las siguientes condiciones:

- 1 No tiene ninguna regla  $\epsilon$ .
- 2 Solamente hay una regla  $\epsilon$   
dicha está asociada al símbolo inicial  $S$

$$S \rightarrow \epsilon$$

y además  $S$  no aparece en la parte derecha de ninguna regla de la gramática.

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Nota (Gramática sin $\epsilon$ )

Si  $G$  es una gramática **sin**  $\epsilon$  entonces

$$\epsilon \in L(G) \iff S \rightarrow \epsilon \in P$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Nota

- *Toda gramática de contexto libre se pueden transformar en otra gramática sin  $\epsilon$ .*
- *Para ello es necesario definir previamente el concepto de símbolo anulable.*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Definición (Símbolo anulable)

Un símbolo no terminal  $A$  es *anulable* si

$$A \xRightarrow{+} \epsilon$$



# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Teorema (Símbolo anulable)

Un símbolo no terminal  $A$  es *anulable* si verifica alguna de las siguientes condiciones:

- $\exists A \rightarrow \epsilon \in P$
- $\exists A \rightarrow \alpha \in P$

y  $\alpha$  está compuesta solamente por símbolos anulables.

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Algoritmo (Obtención de los símbolos anulables)

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

*Gramática de contexto libre sin símbolos inútiles.*

- **Salida**

- *Conjunto de símbolos **anulables**.*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Algoritmo (Obtención de los símbolos anulables)

**inicio**

$Viejo \leftarrow \emptyset$

$Nuevo \leftarrow \{A \mid A \in V_N \wedge \exists A \rightarrow \epsilon \in P\}$

**mientras** ( $Nuevo \neq Viejo$ ) **hacer**

$Viejo \leftarrow Nuevo$

$Nuevo \leftarrow Viejo \cup \{A \mid A \in V_N \wedge \exists A \rightarrow \alpha \in P \wedge \alpha \in Viejo^*\}$

**fin\_mientras**

$Anulables \leftarrow Nuevo$

**fin**

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Símbolos anulables)

- $$P = \{$$
- |                           |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| (1) $S \rightarrow A D$   | (7) $C \rightarrow \epsilon$  |
| (2) $S \rightarrow B$     | (8) $D \rightarrow A$         |
| (3) $A \rightarrow C D E$ | (9) $D \rightarrow b$         |
| (4) $B \rightarrow C E$   | (10) $E \rightarrow S$        |
| (5) $C \rightarrow S$     | (11) $E \rightarrow a$        |
| (6) $C \rightarrow a$     | (12) $E \rightarrow \epsilon$ |
- $$\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Símbolos anulables)

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{C, E\}$
1	$\{C, E\}$	$\{B, C, E\}$
2	$\{B, C, E\}$	$\{S, B, C, E\}$
3	$\{S, B, C, E\}$	$\{S, B, C, E\}$

$$\text{Anulables} = \{S, B, C, E\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Algoritmo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ )

1 / 3

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$  Gramática sin símbolos inútiles
- Conjunto de símbolos *anulables* de  $G$

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S')$   
Gramática sin  $\epsilon$

## Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

Algoritmo (Obtención de una gramática sin  $\epsilon$ )

2/ 3

inicio

$$P' \leftarrow \{A \rightarrow \alpha \mid A \rightarrow \alpha \in P \wedge \alpha \neq \epsilon$$

$$\wedge \alpha \text{ no tiene símbolos anulables}\}$$

**para**  $(A \rightarrow \alpha \in P) \wedge (\alpha \text{ contiene símbolos anulables})$  **hacer**

**si**  $\alpha = \alpha_0 B_1 \alpha_1 \dots B_k \alpha_k$

$\wedge \forall i (B_i \in \text{Anulables})$

$\wedge \forall j (\alpha_j \text{ no contiene ningún símbolo anulable})$

**entonces**  $P' \leftarrow P' \cup \{A \rightarrow \alpha_0 X_1 \alpha_1 \dots X_k \alpha_k \mid$

$\forall i (X_i = B_i \vee X_i = \epsilon) \wedge \alpha_0 X_1 \alpha_1 \dots X_k \alpha_k \neq \epsilon\}$

**fin\_si**

**fin\_para**

...

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Algoritmo** (Obtención de una gramática sin  $\epsilon$ )

3/ 3)

...

**si**  $S \in \text{Anulables}$

**entonces**

*si  $S$  aparece en la parte derecha de una regla de  $P'$*

**entonces**

$$V'_N = V_N \cup \{S'\}$$

$$P' \leftarrow P' \cup \{S' \rightarrow \epsilon, S' \rightarrow S\}$$

**si\_no**

$$P' \leftarrow P' \cup \{S \rightarrow \epsilon\}$$

**fin\_si**

**fin\_si**

**fin**



# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ ) 1 / 9

*Paso 0: reglas sin símbolos anulables y que no son reglas  $\epsilon$ :*

$$\begin{aligned} P' &= \{ \\ (1) & S \longrightarrow AD \\ (6) & C \longrightarrow a \\ (8) & D \longrightarrow A \\ (9) & D \longrightarrow b \\ (11) & E \longrightarrow a \\ & \} \end{aligned}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ ) 2 / 9

*Paso 1: se procesa la regla  $S \rightarrow B$  que contiene el símbolo anulable  $B$*

$$S \rightarrow B$$

$$S \rightarrow \epsilon$$

*Solamente se añade a  $P'$  la primera regla porque la otra es una regla  $\epsilon$ .*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ ) 3 / 9

*Paso 2: se procesa la regla  $A \rightarrow CDE$  que contiene los símbolos anulables  $C$  y  $E$*

$$A \rightarrow CDE$$

$$A \rightarrow DE$$

$$A \rightarrow CD$$

$$A \rightarrow D$$

*Se añaden a  $P'$  porque no son reglas  $\epsilon$ .*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ )

4 / 9

*Paso 3: se procesa la regla  $B \rightarrow CE$  que contiene los símbolos anulables  $C$  y  $E$*

$$B \rightarrow CE$$

$$B \rightarrow E$$

$$B \rightarrow C$$

$$B \rightarrow \epsilon$$

*Solamente se añaden a  $P'$  las tres primeras reglas porque la otra es una regla  $\epsilon$ .*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ ) 5 / 9

*Paso 4: La regla  $C \rightarrow S$  contiene el símbolo anulable  $S$  lo que provoca la generación de las dos reglas siguientes:*

$$C \rightarrow S$$

$$C \rightarrow \epsilon$$

*Solamente se añade a  $P'$  la primera regla porque la otra es una regla  $\epsilon$ .*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Obtención de una gramática sin $\epsilon$ ) 6 / 9

*Paso 5: se procesa la regla  $E \rightarrow S$  que contiene el símbolo anulable  $S$*

$$E \rightarrow S$$

$$E \rightarrow \epsilon$$

*Solamente se añade a  $P'$  la primera regla porque la otra es una regla  $\epsilon$ .*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Obtención de una gramática sin  $\epsilon$ )

7 / 9

*Paso final: al ser el símbolo  $S$  anulable, se añaden a la gramática las siguientes reglas:*

$$S' \longrightarrow \epsilon$$

$$S' \longrightarrow S$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Obtención de una gramática sin  $\epsilon$ )

8 / 9

*Se han suprimido las reglas  $\epsilon$*

$$(7) \quad C \longrightarrow \epsilon$$

$$(12) \quad E \longrightarrow \epsilon$$



# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Obtención de una gramática sin  $\epsilon$ )

9 / 9

*Conjunto final de reglas de producción:*

$$P' = \left\{ \begin{array}{l} S' \rightarrow \epsilon \mid S \\ S \rightarrow AD \mid B \\ A \rightarrow CDE \mid DE \mid CD \mid D \\ B \rightarrow CE \mid E \mid C \\ C \rightarrow S \mid a \\ D \rightarrow A \mid b \\ E \rightarrow S \mid a \\ \end{array} \right\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Definición (Regla unitaria)

$$A \rightarrow B \in P$$

donde  $A, B \in V_N$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Gramática con reglas unitarias)

- $$P = \{$$
- (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + T$
  - (3)  $E \rightarrow T$
  - (4)  $T \rightarrow T * F$
  - (5)  $T \rightarrow F$
  - (6)  $F \rightarrow \text{número}$
  - (7)  $F \rightarrow \text{identificador}$
  - (8)  $F \rightarrow ( E )$
- $$\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Nota (Reglas que no son unitarias)

(6)  $F \rightarrow$  **número**

(7)  $F \rightarrow$  **identificador**

*porque **número** e **identificador** son *terminales*.*

## Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

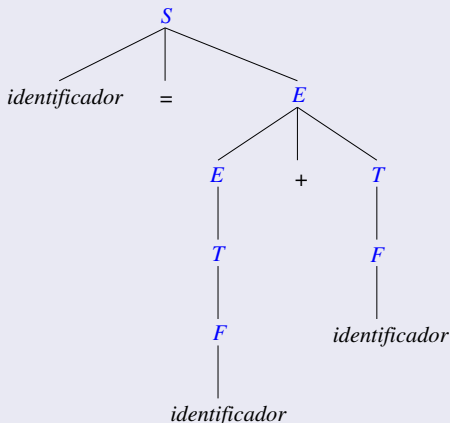
## Ejemplo (Ineficiencia de las reglas unitarias)

$$\begin{array}{l}
 S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E \\
 \xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E} + T \\
 \xRightarrow{3} \text{identificador} = \underline{T} + T \\
 \xRightarrow{5} \text{identificador} = \underline{E} + T \\
 \xRightarrow{7} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + T \\
 \xRightarrow{4} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{E} \\
 \xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{identificador}}
 \end{array}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Árbol sintáctico asociado a la derivación)



# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Ineficiencia de las reglas unitarias)

*La derivación anterior se podría simplificar eliminando reglas unitarias*

$$S \implies \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\implies \text{identificador} = \underline{E} + T$$

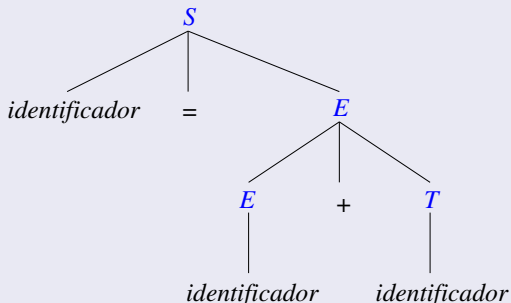
$$\implies \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + T$$

$$\implies \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{identificador}}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Árbol sintáctico asociado a la derivación)





# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Definición

Sea  $G$  una gramática sin  $\epsilon$

Si  $A \in V_N$  entonces el conjunto de símbolos no terminales *accesibles* desde  $A$  por medio de *reglas unitarias* se define como:

$$N_A = \{B \mid B \in V_N \wedge A \xRightarrow{*} B\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Teorema

- Si  $A, B \in V_N$  entonces  $B \in N_A$  si y sólo si verifica alguna de las siguientes condiciones:
  - $B = A$
  - $\exists A \rightarrow B \in P$
  - $\exists A \xrightarrow{*} C$  y  $C \rightarrow B \in P$ .

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Algoritmo** (Símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias)

**inicio**

$Viejo \leftarrow \emptyset$

$Nuevo \leftarrow \{A\}$

**mientras** ( $Nuevo \neq Viejo$ ) **hacer**

$Viejo \leftarrow Nuevo$

$Nuevo \leftarrow Viejo \cup \{B \mid A \rightarrow B \in P \wedge A \in Viejo\}$

**fin\_mientras**

$N_A \leftarrow Nuevo$

**fin**

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
- (2)  $E \rightarrow E + T$
- (3)  $E \rightarrow T$
- (4)  $T \rightarrow T * F$
- (5)  $T \rightarrow F$
- (6)  $F \rightarrow \text{número}$
- (7)  $F \rightarrow \text{identificador}$
- (8)  $F \rightarrow ( E )$

$$\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias)

**Cálculo de  $N_E$**

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{E\}$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias)

**Cálculo de  $N_E$**

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{E\}$
1	$\{E\}$	$\{E, T\}$

*Puesto que (3)  $E \rightarrow T$*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias)

**Cálculo de  $N_E$**

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{E\}$
1	$\{E\}$	$\{E, T\}$
2	$\{E, T\}$	$\{E, T, F\}$

*Puesto que (5)  $T \rightarrow F$*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

**Ejemplo** (Símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias)

### Cálculo de $N_E$

Paso	Viejo	Nuevo
0	$\emptyset$	$\{E\}$
1	$\{E\}$	$\{E, T\}$
2	$\{E, T\}$	$\{E, T, F\}$
3	$\{E, T, F\}$	$\{E, T, F\}$

$$N_E = \text{Nuevo} = \{E, T, F\}$$



# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias)

- $N_S = \{S\}$
- $N_E = \{E, T, F\}$
- $N_T = \{T, F\}$
- $N_F = \{F\}$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Algoritmo (Eliminación de reglas unitarias)

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$  Gramática de contexto libre
- Conjuntos  $N_A \forall A \in V_N$

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$  Gramática *sin* reglas unitarias.

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Algoritmo (Eliminación de reglas unitarias)

**inicio**

$P' \leftarrow \emptyset$

**para** cada  $A \in V_N$  **hacer**

**para** cada  $B \in N_A$  **hacer**

**si**  $B \rightarrow \alpha \in P$  *no es una regla unitaria*

**entonces**  $P' \leftarrow P' \cup \{A \rightarrow \alpha\}$

**fin\_si**

**fin\_para**

**fin\_para**

$V'_N \leftarrow \{A \mid A \in V_N \wedge \exists A \rightarrow \alpha \in P'\}$

**fin**

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Eliminación de reglas unitarias)

- $$P = \{$$
- (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + T$
  - (3)  $E \rightarrow T$
  - (4)  $T \rightarrow T * F$
  - (5)  $T \rightarrow F$
  - (6)  $F \rightarrow \text{número}$
  - (7)  $F \rightarrow \text{identificador}$
  - (8)  $F \rightarrow ( E )$
- $$\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Eliminación de reglas unitarias)

*Paso 1:  $N_S = \{S\}$ , se añaden a  $P'$  todas las reglas de  $S$   
(ninguna regla es unitaria)*

$S \longrightarrow \text{identificador} = E$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Eliminación de reglas unitarias)

*Paso 2:  $N_E = \{E, T, F\}$ , las alternativas no unitarias de  $E$ ,  $T$  y  $F$  se convierten en alternativas de  $E$*

$E \rightarrow E + T$

$E \rightarrow T * F$

$E \rightarrow ( E )$

$E \rightarrow$  **identificador**

$E \rightarrow$  **número**

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Eliminación de reglas unitarias)

*Paso 3:  $N_T = \{T, F\}$ , las alternativas no unitarias de  $T$  y  $F$  se convierten en alternativas de  $T$ .*

$T \rightarrow T * F$

$T \rightarrow ( E )$

$T \rightarrow$  **identificador**

$T \rightarrow$  **número**

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Eliminación de reglas unitarias)

*Paso 4:  $N_F = \{F\}$ , se añaden a  $P'$  todas las reglas de  $F$  (ninguna regla es unitaria)*

$F \rightarrow ( E )$

$F \rightarrow$  **identificador**

$F \rightarrow$  **número**



# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Eliminación de reglas unitarias)

*Nuevo conjunto de reglas de producción*

$$P' = \left\{ \begin{array}{l} S \rightarrow \text{identificador} = E \\ E \rightarrow E + T \mid T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ T \rightarrow T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ F \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ \} \end{array} \right.$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Nota (Eliminación de reglas unitarias)

*Al eliminar las reglas unitarias, algunos símbolos se pueden convertir en **inútiles**.*

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Aparición de símbolos inútiles)

1 / 4)

*Gramática sin  $\epsilon$*

$$P' = \left\{ \begin{array}{l} S' \rightarrow \epsilon \mid S \\ S \rightarrow A D \mid B \\ A \rightarrow C D E \mid D E \mid C D \mid D \\ B \rightarrow C E \mid E \mid C \\ C \rightarrow S \mid a \\ D \rightarrow A \mid b \\ E \rightarrow S \mid a \end{array} \right\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Aparición de símbolos inútiles)

2 / 4

*Conjuntos de símbolos no terminales accesibles mediante reglas unitarias*

$$N_{S'} = \{S', S, B, C, E\}$$

$$N_S = \{S, B, C, E\}$$

$$N_A = \{A, D\}$$

$$N_B = \{S, B, C, E\}$$

$$N_C = \{S, B, C, E\}$$

$$N_D = \{A, D\}$$

$$N_E = \{S, B, C, E\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Aparición de símbolos inútiles)

3 / 4

*Gramática generada por el algoritmo que elimina reglas unitarias*

$$P' = \{$$
$$S' \longrightarrow \epsilon \mid A D \mid C E \mid a \mid c$$
$$S \longrightarrow A D \mid C E \mid a \mid c$$
$$A \longrightarrow C D E \mid D E \mid C D \mid b$$
$$B \longrightarrow C E \mid A D \mid a \mid c$$
$$C \longrightarrow A D \mid C E \mid a \mid c$$
$$D \longrightarrow C D E \mid D E \mid C D \mid b$$
$$E \longrightarrow A D \mid C E \mid a \mid c$$
$$\}$$

# Operaciones de limpieza

## Reglas superfluas

### Ejemplo (Aparición de símbolos inútiles)

4 / 4

- Los símbolos  $S$  y  $B$  *no son accesibles*, porque no aparecen en la parte derecha de ninguna regla de producción.
- Por tanto, estos dos símbolos son *inútiles* y se pueden omitir.

# Contenido de la sección

- 4 Operaciones de limpieza
  - Símbolos útiles e inútiles
  - Reglas superfluas
  - Gramática propia

# Operaciones de limpieza

## Gramática propia

### Definición (Gramática sin ciclos)

Una **gramática es sin ciclos** si no tiene derivaciones de la forma

$$A \xrightarrow{+} A$$

### Nota

- *Los ciclos dificultan el proceso de generación de las palabras y por ello deben evitarse.*
- *La aparición de ciclos se debe a la presencia reglas unitarias o reglas  $\epsilon$ .*



# Operaciones de limpieza

## Gramática propia

### Ejemplo (Gramática con ciclos)

*Reglas de una gramática*

$$P = \{$$

...

$$A \rightarrow BC$$
$$B \rightarrow \epsilon$$
$$C \rightarrow A$$

...

$$\}$$

*Ciclo*

$$A \Rightarrow BC \Rightarrow C \Rightarrow A$$

# Operaciones de limpieza

## Gramática propia

### Nota

*Obviamente, una gramática sin  $\epsilon$  que no tenga reglas unitarias no puede generar ciclos.*

# Operaciones de limpieza

## Gramática propia

### Definición (Gramática propia)

*Se dice que una **gramática es propia** si es una gramática sin ciclos, sin reglas  $\epsilon$ , ni símbolos inútiles.*

# Recursividad y factorización

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización**
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Recursividad y factorización

- 5 Recursividad y factorización
  - Recursividad
  - Factorización por la izquierda
  - Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

# Contenido de la sección

- 5 Recursividad y factorización
  - Recursividad
  - Factorización por la izquierda
  - Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Recursividad

- Gramática con recursividad inmediata
- Gramática con recursividad general
- Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda
- Eliminación de la recursividad general por la izquierda

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Recursividad

- Gramática con recursividad inmediata
- Gramática con recursividad general
- Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda
- Eliminación de la recursividad general por la izquierda



# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Definición (Gramática con recursividad inmediata)

*Una gramática posee recursividad inmediata si*

$$\exists A \rightarrow \alpha A \beta \in P$$

*donde*

- $A \in V_N$
- $\alpha\beta \in V^+ = (V_N \cup V_T)^+$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Gramática con recursividad inmediata)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \mathbf{a} S \mathbf{a}$
- (2)  $S \rightarrow \mathbf{a} A \mathbf{a}$
- (3)  $A \rightarrow \mathbf{b} A \mathbf{b}$
- (4)  $A \rightarrow \mathbf{c}$

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Definición (Recursividad inmediata por la izquierda)

Una gramática posee recursividad inmediata por la izquierda si

$$\exists A \rightarrow A \beta \in P$$

donde

- $A \in V_N$
- $\beta \in V^+ = (V_N \cup V_T)^+$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Recursividad inmediata por la izquierda

1 / 7)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow S a$
- (2)  $S \rightarrow A a$
- (3)  $A \rightarrow A b$
- (4)  $A \rightarrow c$

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad inmediata por la izquierda

2 / 7)

 $P = \{$ 

(1)  $\langle \text{asignación} \rangle \rightarrow \mathbf{identificador} = \langle \text{expresión} \rangle$

(2)  $\langle \text{expresión} \rangle \rightarrow \langle \text{expresión} \rangle + \langle \text{sumando} \rangle$

(3)  $\langle \text{expresión} \rangle \rightarrow \langle \text{sumando} \rangle$

(4)  $\langle \text{sumando} \rangle \rightarrow \langle \text{sumando} \rangle * \langle \text{factor} \rangle$

(5)  $\langle \text{sumando} \rangle \rightarrow \langle \text{factor} \rangle$

(6)  $\langle \text{factor} \rangle \rightarrow \mathbf{número}$

(7)  $\langle \text{factor} \rangle \rightarrow \mathbf{identificador}$

(8)  $\langle \text{factor} \rangle \rightarrow (\langle \text{expresión} \rangle)$

 $\}$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad inmediata por la izquierda)

3 / 7

- $P = \{$ 
  - (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$ $\}$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad inmediata por la izquierda

4 / 7)

- *Sentencia de asignación múltiple del lenguaje C*

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow L E$
- (2)  $L \rightarrow L \text{ identificador} =$
- (3)  $L \rightarrow \text{identificador} =$
- (4)  $E \rightarrow E + T$

...

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad inmediata por la izquierda 5 / 7)

- *Derivación recursiva por la izquierda*

$$S \xRightarrow{1} \underline{L E}$$

$$\xRightarrow{2} \underline{L \text{ identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \underline{L \text{ identificador}} = \text{identificador} = E$$

$$\xRightarrow{3} \underline{\text{identificador}} = \text{identificador} = \text{identificador} = E$$

...



# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad inmediata por la izquierda 6 / 7)

- *Lista de parámetros de un procedimiento o función:*

$$P = \left\{ \begin{array}{l} (1) S \rightarrow \text{identificador } ( L ) \\ (2) L \rightarrow L , \text{ identificador} \\ (3) L \rightarrow \text{identificador} \\ \dots \\ \end{array} \right\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad inmediata por la izquierda 7 / 7)

- *Componentes de un array:*

$$P = \left\{ \begin{array}{l} (1) S \rightarrow \text{identificador } D \\ (2) D \rightarrow D [ \text{número} ] \\ (3) D \rightarrow [ \text{número} ] \\ \dots \\ \end{array} \right\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Definición (Recursividad inmediata por la derecha)

*Una gramática posee recursividad inmediata por la derecha si*

$$\exists A \rightarrow \alpha A \in P$$

*donde*

- $A \in V_N$
- $\alpha \in V^+ = (V_N \cup V_T)^+$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad inmediata por la derecha)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow a S$
- (2)  $S \rightarrow a A$
- (3)  $A \rightarrow b A$
- (4)  $A \rightarrow c$

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Recursividad

- Gramática con recursividad inmediata
- Gramática con recursividad general
- Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda
- Eliminación de la recursividad general por la izquierda

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Definición (Gramática con recursividad general)

Una gramática posee recursividad general si

$$\exists A \xRightarrow{+} \alpha A \beta$$

donde

- $A \in V_N$
- $\alpha, \beta \in V^* = (V_N \cup V_T)^*$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Gramática con recursividad general

1 / 2)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \mathbf{a} A \mathbf{a}$
- (2)  $A \rightarrow \mathbf{a} A \mathbf{a}$
- (3)  $A \rightarrow \mathbf{b} S \mathbf{b}$
- (4)  $A \rightarrow \mathbf{c}$

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Gramática con recursividad general

2 / 2)

$S \xRightarrow{1} \underline{a A a}$

$\xRightarrow{2} \underline{a a A a a}$

$\xRightarrow{3} \underline{a a b S b a a}$

...



# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Definición (Recursividad general por la izquierda)

Una gramática posee recursividad general por la izquierda si

$$\exists A \xRightarrow{+} A \beta$$

donde

- $A \in V_N$
- $\beta \in V^+ = (V_N \cup V_T)^+$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Recursividad general por la izquierda

1 / 2)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow A a$
- (2)  $A \rightarrow A a$
- (3)  $A \rightarrow S b$
- (4)  $A \rightarrow c$

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Recursividad general por la izquierda)

2 / 2)

$S \xRightarrow[1]{} \underline{A} a$

$\xRightarrow[2]{} \underline{A} a a$

$\xRightarrow[3]{} \underline{S} b a a$

...

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Definición (Recursividad general por la derecha)

Una gramática posee recursividad general por la derecha si

$$\exists A \xRightarrow{+} \alpha A$$

donde

- $A \in V_N$
- $\alpha \in V^+ = (V_N \cup V_T)^+$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Recursividad general por la derecha 1 / 2)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \mathbf{a} A$
- (2)  $A \rightarrow \mathbf{a} A$
- (3)  $A \rightarrow \mathbf{b} S$
- (4)  $A \rightarrow \mathbf{c}$

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Recursividad general por la derecha)

2 / 2)

$$S \xRightarrow[1]{} \underline{a A}$$

$$\xRightarrow[2]{} \underline{a a A}$$

$$\xRightarrow[3]{} \underline{a a b S}$$

...

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Nota (Gramática recursiva por la izquierda: **inconveniente**)

- *No se puede realizar el análisis sintáctico descendente con gramáticas recursivas por la izquierda.*
- *Dichas gramáticas deben ser convertidas en gramáticas recursivas por la derecha.*

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Recursividad

- Gramática con recursividad inmediata
- Gramática con recursividad general
- Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda
- Eliminación de la recursividad general por la izquierda



# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Algoritmo (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda)

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

- Gramática **con** reglas recursivas por la izquierda.*

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$

- Gramática **sin** reglas recursivas por la izquierda.*

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Algoritmo (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda)

**inicio**

$P' \leftarrow \emptyset$

**para** cada  $A \in V_N$  **hacer**

**si**  $A$  no tiene reglas recursivas

**entonces** se añaden a  $P'$  las reglas de  $A$

**si no si**  $(A \rightarrow A\alpha_1|A\alpha_2|\dots|A\alpha_p|\beta_1|\beta_2|\dots|\beta_q \in P)$

donde  $\forall i \alpha_i \neq \epsilon$  y  $\forall j \beta_j$  no empieza por  $A$

**entonces** se añaden a  $P'$  las reglas

$$A \rightarrow \beta_j|\beta_j A' \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, q\}$$

$$A' \rightarrow \alpha_i|\alpha_i A' \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, p\}$$

**fin\_si**

**fin\_si**

**fin\_para**

**fin**

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Nota (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda)

- Si  $A \in V_N$  posee recursividad inmediata entonces  $A'$  es un nuevo símbolo no terminal.

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda 1/7)

$$P = \left\{ \begin{array}{l} S \rightarrow \text{identificador} = E \\ E \rightarrow E + T \mid T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ T \rightarrow T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ F \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ \end{array} \right\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda 2/7)

*Paso 1:  $S$  no tiene recursividad por la izquierda*

*Se añade a  $P'$  la regla de  $S$ .*

$S \rightarrow \mathbf{identificador} = E$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda 3/7)

*Paso 2: E tiene una regla recursiva por la izquierda*

$$E \longrightarrow E \underbrace{+T}_{\alpha_1} \mid \underbrace{T*F}_{\beta_1} \mid \underbrace{(E)}_{\beta_2} \mid \underbrace{\text{identificador}}_{\beta_3} \mid \underbrace{\text{número}}_{\beta_4}$$

*Se añaden a P' las siguientes reglas*

$$\begin{aligned} E &\longrightarrow T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \mid \\ &\quad T * F E' \mid ( E ) E' \mid \text{identificador } E' \mid \text{número } E' \\ E' &\longrightarrow + T \mid + T E' \end{aligned}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda 4/7)

*Paso 3:  $T$  tiene una regla recursiva por la izquierda*

$$T \longrightarrow T \underbrace{*F}_{\alpha_1} \mid \underbrace{(E)}_{\beta_1} \mid \underbrace{\text{identificador}}_{\beta_2} \mid \underbrace{\text{número}}_{\beta_3}$$

*Se añaden a  $P'$  las siguientes reglas:*

$$\begin{aligned} T &\longrightarrow (E) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \mid \\ &\quad (E) T' \mid \text{identificador } T' \mid \text{número } T' \\ T' &\longrightarrow * F \mid * F T' \end{aligned}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda 5/7)

*Paso 4:  $F$  no posee reglas recursivas.*

*Se añaden a  $P'$  todas las reglas de  $F$*

$F \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número}$



# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda 6/7)

$$\begin{aligned}
 P' = \{ & \\
 & S \rightarrow \text{identificador} = E \\
 & E \rightarrow T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \mid \\
 & \quad T * F E' \mid ( E ) E' \mid \text{identificador } E' \mid \text{número } E' \\
 & E' \rightarrow + T \mid + T E' \\
 & T \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \mid \\
 & \quad ( E ) T' \mid \text{identificador } T' \mid \text{número } T' \\
 & T' \rightarrow * F \mid * F T' \\
 & F \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\
 & \}
 \end{aligned}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda 7/7)

- $G$  y  $G'$  son gramáticas equivalentes

$$S \xrightarrow{G} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xrightarrow{G} \underline{\text{identificador}} = E + T$$

$$\xrightarrow{G} \underline{\text{identificador}} = \underline{\text{identificador}} + T$$

$$\xrightarrow{G} \underline{\text{identificador}} = \underline{\text{identificador}} + \underline{\text{identificador}}$$

$$S \xrightarrow{G'} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xrightarrow{G'} \underline{\text{identificador}} = \underline{\text{identificador}} E'$$

$$\xrightarrow{G'} \underline{\text{identificador}} = \underline{\text{identificador}} + T$$

$$\xrightarrow{G'} \underline{\text{identificador}} = \underline{\text{identificador}} + \underline{\text{identificador}}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Recursividad

- Gramática con recursividad inmediata
- Gramática con recursividad general
- Eliminación de la recursividad inmediata por la izquierda
- Eliminación de la recursividad general por la izquierda

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Algoritmo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda)

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

- Gramática de contexto libre **propia**, es decir, sin ciclos, sin reglas  $\epsilon$ , ni símbolos inútiles.*

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$

- Gramática **sin** recursividad por la izquierda.*

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Algoritmo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda)

**inicio**

$P' \leftarrow \emptyset$

Ordénense los símbolos no terminales de la gramática:  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$

**para**  $i$  **de** 1 **a**  $n$  **hacer**

**para**  $j$  **de** 1 **a**  $i - 1$  **hacer**

**si**  $A_i \rightarrow A_j \gamma \in P$

**entonces**

                Añadir a  $P'$  las reglas  $A_i \rightarrow \delta_1 \gamma \mid \dots \mid \delta_k \gamma$

                donde  $A_j \rightarrow \delta_1 \mid \dots \mid \delta_k$  son las reglas actuales de  $A_j$

**fin\_si**

**fin\_para**

        Eliminar la recursividad inmediata por la izquierda de las reglas de  $A_i$ .

**fin\_para**

**fin**

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 1 / 8)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow A B$
- (2)  $S \rightarrow c$
- (3)  $A \rightarrow B b$
- (4)  $A \rightarrow S d$
- (5)  $A \rightarrow a$
- (6)  $B \rightarrow S b$
- (7)  $B \rightarrow A a$

$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

**Ejemplo** (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 2 / 8)

- *Ordenamiento de los símbolos no terminales:  $\{S, A, B\}$*

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 3 / 8)

- *Paso exterior 1: reglas de producción de  $S$* 
  - *Paso interior 1*

$S$  **no** tiene ninguna regla que comience por un símbolo con un número de orden inferior al suyo.
  - *Eliminación de la recursividad inmediata de  $S$* 

$S$  **no** tiene recursividad inmediata por la izquierda.



# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 4 / 8)

- *Paso exterior 2: reglas de producción de A*

- *Paso interior 1:*

*Sustitución de las reglas de A que comienzan por S:*

- *La regla(4)  $A \rightarrow S d$  se sustituye por  $A \rightarrow A B d \mid c d$*
    - *Nuevas reglas de A:*

$$A \rightarrow A B d \mid B b \mid c d \mid a$$

- *Eliminación de la recursividad inmediata de A:*

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B b \mid c d \mid a \mid \\ \quad \quad \quad B b A' \mid c d A' \mid a A' \\ A' \rightarrow B d \mid B d A' \end{array}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 5 / 8)

- *Paso exterior 3: reglas de producción de B*

- *Paso interior 1:*

*Sustitución de las reglas de B que comienzan por S*

- *La regla (6)  $B \rightarrow S b$  se sustituye por*

$$B \rightarrow A B b \mid c b$$

- *Nuevas reglas de B*

$$B \rightarrow A B b \mid c b \mid A a$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 6 / 8)

- *Paso exterior 3: reglas de producción de B*

- *Paso interior 2:*

*Sustitución de las reglas de B que comienzan por A*

- *La regla  $B \rightarrow A B b$  se sustituye por las reglas*

$$\begin{array}{l}
 B \rightarrow B b B b \mid c d B b \mid a B b \mid \\
 \qquad B b A' B b \mid c d A' B b \mid a A' B b
 \end{array}$$

- *y la regla  $B \rightarrow A a$  se sustituye por las reglas*

$$\begin{array}{l}
 B \rightarrow B b a \mid c d a \mid a a \mid \\
 \qquad B b A' a \mid c d A' a \mid a A' a
 \end{array}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 7 / 8)

- *Paso exterior 3: reglas de producción de B*
  - *Nuevas reglas de B:*

$$\begin{array}{l}
 B \longrightarrow B b B b \mid B b A' B b \mid B b a \mid B b A' a \mid \\
 \quad c d B b \mid a B b \mid c d A' B b \mid a A' B b \mid \\
 \quad b a \mid c d a \mid a a \mid c d A' a \mid a A' a \mid \\
 \quad c b
 \end{array}$$

# Recursividad y factorización

## Recursividad

### Ejemplo (Eliminación de la recursividad general por la izquierda 8 / 8)

- *Paso exterior 3: reglas de producción de B*
  - *Eliminación de la recursividad inmediata de B*

$$\begin{aligned}
 B \quad \longrightarrow \quad & c d B b \mid a B b \mid c d A' B b \mid a A' B b \mid \\
 & b a \mid c d a \mid a a \mid c d A' a \mid a A' a \mid \\
 & c b \mid \\
 & c d B b B' \mid a B b B' \mid c d A' B b B' \mid a A' B b B' \mid \\
 & b a B' \mid c d a B' \mid a a B' \mid c d A' a B' \mid a A' a B' \mid \\
 & c b B' \\
 B' \quad \longrightarrow \quad & b B b \mid b A' B b \mid b a \mid b A' a \mid \\
 & b B b B' \mid b A' B b B' \mid b a B' \mid b A' a B'
 \end{aligned}$$

# Contenido de la sección

- 5 Recursividad y factorización
  - Recursividad
  - **Factorización por la izquierda**
  - Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Factorización por la izquierda

- Considérense las siguientes reglas de producción:

$$S \longrightarrow \text{si } E \text{ entonces } S \text{ si\_no } S \text{ fin\_si}$$

$$S \longrightarrow \text{si } E \text{ entonces } S \text{ fin\_si}$$

- Si se recibe el componente léxico **si**, no se sabe aún qué regla de  $S$  se debe utilizar
- Se puede **posponer** esta decisión si se utilizan las siguientes reglas de producción.

$$S \longrightarrow \text{si } E \text{ entonces } S \text{ } S'$$

$$S' \longrightarrow \text{si\_no } S \text{ fin si}$$

$$S' \longrightarrow \text{fin\_si}$$

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Factorización por la izquierda

- En general, si

$$A \longrightarrow \alpha \beta_1 \mid \alpha \beta_2 \mid \cdots \mid \alpha \beta_N$$

son reglas de  $A$  que comienzan por  $\alpha \neq \epsilon$

entonces no se sabe qué alternativa de  $A$  utilizar

- **Solución:** factorizar por la izquierda

$$A \longrightarrow \alpha A'$$

$$A' \longrightarrow \beta_1 \mid \beta_2 \mid \cdots \mid \beta_N$$



# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Nota (Factorización por la izquierda)

*El análisis sintáctico descendente requiere que la gramática esté factorizada por la izquierda.*

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Algoritmo (Factorización por la izquierda)

1/2

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

- Gramática de contexto libre propia.*

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$

- Gramática factorizada por la izquierda.*

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Algoritmo (Factorización por la izquierda)

2/2

**inicio**

**para** cada  $A \in V_N$  **hacer**

**mientras**  $A$  tenga dos reglas actuales con el mismo prefijo **hacer**

**si**  $\alpha \neq \epsilon$  es el *prefijo más largo* de dos o más alternativas de  $A$

**entonces** *sustituir todas las reglas de*  $A$

$$A \longrightarrow \alpha \beta_1 \mid \cdots \mid \alpha \beta_p \mid \gamma_1 \mid \cdots \mid \gamma_q$$

donde  $\gamma_i$  no empieza por  $\alpha \forall i \in \{1, 2, \dots, q\}$

por las reglas

$$A \longrightarrow \alpha A' \mid \gamma_1 \mid \cdots \mid \gamma_q$$

$$A' \longrightarrow \beta_1 \mid \cdots \mid \beta_p$$

**fin\_si**

**fin\_mientras**

**fin\_para**

**fin**

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Ejemplo (Factorización por la izquierda)

1/4

$$P = \{$$
$$S \longrightarrow A B c \mid A B d e \mid A B d f \mid A B S$$
$$A \longrightarrow a$$
$$B \longrightarrow b$$
$$\}$$

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Ejemplo (Factorización por la izquierda)

2/4

- *Paso 1: factorización de las reglas de S (1/2)*
  - $\alpha_1 = ABd$ : prefijo más largo

$$S \longrightarrow A B c \mid A B d e \mid A B d f \mid A B S$$

- *Las reglas de S se sustituyen por:*

$$S \longrightarrow A B d S' \mid A B c \mid A B S$$

$$S' \longrightarrow e \mid f$$

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Ejemplo (Factorización por la izquierda)

3/4

- *Paso 1: factorización de las reglas de  $S$  (2/2)*
  - $\alpha_2 = AB$ : nuevo prefijo más largo.

$$S \longrightarrow A B d S' \mid A B c \mid A B S$$

- *Las reglas actuales de  $S$  se sustituyen por:*

$$\begin{aligned} S &\longrightarrow A B S'' \\ S'' &\longrightarrow d S' \mid c \mid S \\ S' &\longrightarrow e \mid f \end{aligned}$$

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Ejemplo (Factorización por la izquierda)

4/4

- *Pasos 2 y 3*

*Las producciones de A y B no requieren factorización.*

# Recursividad y factorización

## Factorización por la izquierda

### Ejercicio (Factorización por la izquierda)

$$\begin{aligned}
 P' = \{ & \\
 & S \rightarrow \text{identificador} = E \\
 & E \rightarrow T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \mid \\
 & \quad T * F E' \mid ( E ) E' \mid \text{identificador } E' \mid \text{número } E' \\
 & E' \rightarrow + T \mid + T E' \\
 & T \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \mid \\
 & \quad ( E ) T' \mid \text{identificador } T' \mid \text{número } T' \\
 & T' \rightarrow * F \mid * F T' \\
 & F \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\
 & \}
 \end{aligned}$$



# Contenido de la sección

- 5 Recursividad y factorización
  - Recursividad
  - Factorización por la izquierda
  - Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Algoritmo

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

- Gramática **con** recursividad inmediata por la izquierda.*

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$

- Gramática **sin** recursividad inmediata por la izquierda y factorizada por la izquierda.*

# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Algoritmo

**inicio**

$P' \leftarrow \emptyset$

**para** cada  $A \in V_N$  **hacer**

*si*  $A$  no tiene producciones recursivas

**entonces** se añaden a  $P'$  las producciones de  $A$  *factorizadas*

**si\_no si**  $A \rightarrow A\alpha_1|A\alpha_2|\dots|A\alpha_p|\beta_1|\beta_2|\dots|\beta_q \in P$

*donde*  $\forall i \alpha_i \neq \epsilon$  y  $\forall j \beta_j$  no empieza por  $A$

**entonces** se añaden a  $P'$  las producciones

$A \rightarrow \beta_j A' \quad \forall j \in \{1, 2, \dots, q\}$

$A' \rightarrow \alpha_i A' | \epsilon \quad \forall i \in \{1, 2, \dots, p\}$

**fin\_si**

**fin\_si**

**fin\_para**

**fin**

# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Ejemplo (Eliminación de recursividad y factorización 1 / 2)

*Gramática sin reglas unitarias*

$$\begin{aligned} P = \{ & \\ & S \rightarrow \text{identificador} = E \\ & E \rightarrow E + T \mid T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ & T \rightarrow T * F \mid ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ & F \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número} \\ & \} \end{aligned}$$

# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Ejemplo (Eliminación de recursividad y factorización 2 / 6)

- *Procesamiento de la regla de S*

$$S \rightarrow \mathbf{identificador} = E$$

*Se añade a P' porque dicha regla no es recursiva*

# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Ejemplo (Eliminación de recursividad y factorización 3 / 6)

- Procesamiento de las reglas de  $E$

$$E \longrightarrow E \underbrace{+ T}_{\alpha_1} \mid \underbrace{T * F}_{\beta_1} \mid \underbrace{( E )}_{\beta_2} \mid \underbrace{\text{identificador}}_{\beta_3} \mid \underbrace{\text{número}}_{\beta_4}$$

Se añaden a  $P'$  las siguientes reglas

$$E \longrightarrow T * F E' \mid ( E ) E' \mid \text{identificador } E' \mid \text{número } E'$$

$$E' \longrightarrow + T E' \mid \epsilon$$

# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Ejemplo (Eliminación de recursividad y factorización) 4 / 6

- Procesamiento de las reglas de  $T$

$$T \longrightarrow T \underbrace{*F}_{\alpha_1} \mid \underbrace{(E)}_{\beta_1} \mid \underbrace{\text{identificador}}_{\beta_2} \mid \underbrace{\text{número}}_{\beta_3}$$

Se añaden a  $P'$  las siguientes reglas

$$T \longrightarrow (E) T' \mid \text{identificador } T' \mid \text{número } T'$$

$$T' \longrightarrow * F T' \mid \epsilon$$

# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Ejemplo (Eliminación de recursividad y factorización 5 / 6)

- *Procesamiento de las reglas de  $F$*

$$F \longrightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número}$$

*Se añaden a  $P'$  porque no son recursivas por la izquierda ni necesitan ser factorizadas.*



# Recursividad y factorización

Eliminación de la recursividad inmediata y factorización por la izquierda

## Ejemplo (Gramática transformada)

6 / 6

$P' = \{$

$S \rightarrow \text{identificador} = E$

$E \rightarrow T * F E' \mid ( E ) E' \mid \text{identificador } E' \mid \text{número } E'$

$E' \rightarrow + T E' \mid \epsilon$

$T \rightarrow ( E ) T' \mid \text{identificador } T' \mid \text{número } T'$

$T' \rightarrow * F T' \mid \epsilon$

$F \rightarrow ( E ) \mid \text{identificador} \mid \text{número}$

$\}$

# Formas normales

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales**
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Formas normales

- 6 Formas normales
  - Forma normal de Chomsky
  - Forma normal de Greibach

# Contenido de la sección

- 6 Formas normales
  - Forma normal de Chomsky
  - Forma normal de Greibach

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Definición (Gramática en la forma normal de Chomsky)

- Una gramática está en la *forma normal de Chomsky (F.N.C.)* si sus reglas son de la forma:

$$A \longrightarrow B C$$

$$A \longrightarrow a$$

donde

- $A, B, C \in V_N$
- $a \in V_T$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Ejemplo (Gramática en la forma normal de Chomsky 1 / 3)

$$P = \left\{ \begin{array}{l} (1) \quad S \rightarrow A B \\ (2) \quad A \rightarrow A B \\ (3) \quad A \rightarrow a \\ (4) \quad B \rightarrow B B \\ (5) \quad B \rightarrow b \end{array} \right\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

Ejemplo (Gramática en F.N.C.: derivación)

2 / 3

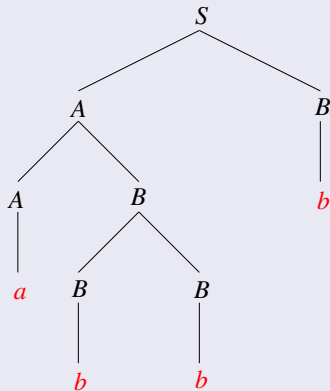
$$\begin{aligned} S &\xRightarrow[1]{} \underline{A} B \\ &\xRightarrow[2]{} \underline{A} B B \\ &\xRightarrow[3]{} \underline{a} B B \\ &\xRightarrow[4]{} a \underline{B} B B \\ &\xRightarrow[5]{} a \underline{b} B B \\ &\xRightarrow[5]{} a b \underline{b} B \\ &\xRightarrow[5]{} a b b \underline{b} \end{aligned}$$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

Ejemplo (Gramática en F.N.C.: árbol sintáctico)

3 / 3





# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Nota (Árboles de la gramáticas en la F. N. C.)

*Los **árboles** sintácticos de las derivaciones de las gramáticas que están en la forma normal de **Chomsky** siempre son **árboles binarios**.*

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Nota (Análisis sintáctico)

*El algoritmo de análisis sintáctico **CYK** (Cocke, Younger, Kasami) se aplica a gramáticas que están en la **Forma Normal de Chomsky**.*

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Chomsky 1 / 6)

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$   
*Gramática propia.*

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$   
*Gramática en la forma normal Chomsky.*

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Chomsky 2/ 6)

- *Paso 1*

Generación de  $G_1 = (V_{N_1}, V_T, P_1, S)$

$$A \longrightarrow B_1 B_2 \cdots B_k \quad \text{donde } k \geq 2$$

$$A \longrightarrow a$$

- *Paso 2*

Generación de  $G_2 = (V_{N_2}, V_T, P_2, S)$

$$A \longrightarrow B C$$

$$A \longrightarrow a$$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

Nota (Obtención de la forma normal de Chomsky) 3 / 6

*Se verifica que  $L(G_2) = L(G_1) = L(G) - \{\epsilon\}$ .*

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Chomsky 4 / 6)

*Paso 1. Sea  $A \rightarrow X_1 X_2 \cdots X_k \in P$*

- *Si  $k = 1$  entonces*

*$A \rightarrow X_1$  se añade a  $P_1$*

*donde  $X_1 \in V_T$ , porque la gramática no tiene reglas unitarias.*

- *Si  $k \geq 2$  entonces*

*$A \rightarrow B_1 B_2 \cdots B_k$  se añade a  $P_1$*

*donde*

- *Si  $X_i \in V_N$  entonces  $B_i = X_i$*
- *Si  $X_i = a_i \in V_T$  entonces*
  - *$B_i \in V_{N_1} - V_N$*
  - *$B_i \rightarrow X_i \in P_1$*

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Chomsky 5 / 6)

*Paso 2. Generación de las reglas de  $P_2$*

- Si  $A \rightarrow a \in P_1$  entonces  $A \rightarrow a \in P_2$ .
- Si  $A \rightarrow B_1 B_2 \cdots B_k \in P_1$  entonces:
  - Si  $k = 2$  entonces  $A \rightarrow B_1 B_2 \in P_2$
  - Si  $k \geq 3$  entonces se añaden a  $P_2$  las siguientes reglas:

$$\begin{array}{lcl}
 A & \longrightarrow & B_1 C_1 \\
 C_1 & \longrightarrow & B_2 C_2 \\
 & \dots & \\
 C_{k-1} & \longrightarrow & B_{k-2} C_{k-2} \\
 C_{k-2} & \longrightarrow & B_{k-1} B_k
 \end{array}$$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

Nota (Obtención de la forma normal de Chomsky) 6 / 6

$\forall i \in \{1, \dots, k - 2\}$   $C_i$  es un nuevo símbolo no terminal.



# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Chomsky 1 / 3)

*Gramática de contexto libre propia.*

$$P = \left\{ \begin{array}{l} S \rightarrow a A B \\ A \rightarrow a B b \\ A \rightarrow a \\ B \rightarrow b b \end{array} \right\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Chomsky 2 / 3)

*Paso 1*

$$P_1 = \left\{ \begin{array}{l} S \longrightarrow B_1 A B \\ A \longrightarrow B_1 B B_2 \\ A \longrightarrow a \\ B \longrightarrow B_2 B_2 \\ B_1 \longrightarrow a \\ B_2 \longrightarrow b \\ \end{array} \right\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Chomsky 3 / 3)

*Paso 2*

$$\begin{array}{l}
 P_2 = \{ \\
 \quad S \rightarrow B_1 C_1 \qquad A \rightarrow a \\
 \quad C_1 \rightarrow A B \qquad B \rightarrow B_2 B_2 \\
 \quad A \rightarrow B_1 C_2 \qquad B_1 \rightarrow a \\
 \quad C_2 \rightarrow B B_2 \qquad B_2 \rightarrow b \\
 \quad \}
 \end{array}$$

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Ejercicio (Obtención de la forma normal de Chomsky 1 / 2)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow T L ;$
- (2)  $T \rightarrow \mathbf{int}$
- (3)  $T \rightarrow \mathbf{float}$
- (4)  $L \rightarrow \mathbf{identificador} L'$
- (5)  $L' \rightarrow \mathbf{, identificador} L'$
- (6)  $L' \rightarrow \epsilon$

$$\}$$

### Nota

*Previamente, hay que eliminar la regla  $\epsilon$*

# Formas normales

## Forma normal de Chomsky

### Ejercicio (Obtención de la forma normal de Chomsky 2 / 2)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow T \text{ identificador } ( P ) ;$
- (2)  $T \rightarrow \text{int}$
- (3)  $P \rightarrow \text{identificador } P'$
- (4)  $P' \rightarrow , \text{ identificador } P'$
- (5)  $P' \rightarrow \epsilon$

$$\}$$

### Nota

*Previamente, hay que eliminar la regla  $\epsilon$*

# Contenido de la sección

- 6 Formas normales
  - Forma normal de Chomsky
  - Forma normal de Greibach

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Definición (Forma normal de Greibach)

- Una gramática está en la *forma normal de Greibach (F.N.G.)* si sus reglas son de la forma:

$$A \longrightarrow a \alpha$$

donde

- $A \in V_N$
- $a \in V_T$
- $\alpha \in V_N^*$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

**Ejemplo** (Forma normal de Greibach: gramática

1 / 2)

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow \mathbf{int} L P$
- (2)  $S \rightarrow \mathbf{float} L P$
- (3)  $L \rightarrow \mathbf{identificador} L'$
- (4)  $L \rightarrow \mathbf{identificador}$
- (5)  $L' \rightarrow , I L'$
- (6)  $L' \rightarrow , I$
- (7)  $I \rightarrow \mathbf{identificador}$
- (8)  $P \rightarrow ;$

$$\}$$



# Formas normales

## Forma normal de Greibach

**Ejemplo** (Forma normal de Greibach: derivación

2 / 2)

$S \xRightarrow{1} \text{int } \underline{L} P$

$\xRightarrow{3} \text{int } \underline{\text{identificador}} L' P$

$\xRightarrow{6} \text{int } \text{identificador } , \underline{I} P$

$\xRightarrow{7} \text{int } \text{identificador } , \underline{\text{identificador}} P$

$\xRightarrow{8} \text{int } \text{identificador } , \text{identificador } \underline{;}$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Nota (Análisis sintáctico descendente)

- Una gramática en *FNG* admite el *análisis sintáctico descendente* si  $\forall A \in V_N$  sus alternativas comienzan por un símbolo terminal *diferente*.

$$A \longrightarrow a_1 \alpha_1$$

$$A \longrightarrow a_2 \alpha_2$$

...

$$A \longrightarrow a_N \alpha_N$$

Si  $i \neq j$  entonces  $a_i \neq a_j$

- Véase el tema nº 4.- *Análisis sintáctico descendente*.

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Análisis sintáctico descendente)

Gramática en FNG que admite el análisis sintáctico descendente

$$P = \{$$

- (1)  $S \rightarrow a A B C$
- (2)  $A \rightarrow a A$
- (3)  $A \rightarrow b$
- (4)  $B \rightarrow b B$
- (5)  $B \rightarrow c$
- (6)  $C \rightarrow c C$
- (7)  $C \rightarrow d$

$$\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 1 / 9)

- **Entrada**

- $G = (V_N, V_T, P, S)$

- Gramática en la forma normal Chomsky.*

- **Salida**

- $G' = (V'_N, V_T, P', S)$

- Gramática en la forma normal Greibach.*

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 2 / 9)

- *Paso 1*

*Aplicación del algoritmo que elimina la **recursividad general** por la izquierda.*

- *Paso 2*

**Transformación** de las reglas de los símbolos **no terminales** de la gramática **original**.

- *Paso 3:*

**Transformación** de las reglas de los símbolos **no terminales** **obtenidos** al eliminar la **recursividad inmediata**.

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 3 / 9)

- *Paso 1 (1/3)*

*Aplicación del algoritmo que elimina la **recursividad general por la izquierda**.*

*Las reglas de producción resultantes serán de la forma:*

$$A_i \longrightarrow A_j \gamma \quad \forall j > i \wedge i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$A_i \longrightarrow a \gamma$$

$$A'_i \longrightarrow \gamma$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 4 / 9)

- *Paso 1 (2/3)*

*donde*

- $A_i, A_j \in V_N$
- $a \in V_T$
- $\forall i A'_i$ : *generado al eliminar la recursividad inmediata por la izquierda*
- $\gamma \in (V_N \cup \{A'_1, A'_2, \dots, A'_n\})^*$ .

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 5 / 9)

- *Paso 1 (3/3)*
  - *En particular, la reglas del símbolo  $A_n$  ya estarán en la forma normal de Greibach.*

$$A_n \rightarrow a \gamma$$



# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 6 / 9)

- *Paso 2. Transformación de las reglas de los símbolos no terminales de la gramática original.*

inicio

para  $i$  de  $n - 1$  a 1 hacer

para  $j$  de  $i + 1$  a  $n$  hacer

para cada producción actual de  $A_i$  de la forma  $A_i \rightarrow A_j \gamma$  hacer

si  $A_j \rightarrow a_1 \alpha_1 \mid a_2 \alpha_2 \mid \dots \mid a_p \alpha_p$  son las reglas actuales de  $A_j$

entonces  $A_i \rightarrow a_1 \alpha_1 \gamma \mid a_2 \alpha_2 \gamma \mid \dots \mid a_p \alpha_p \gamma$

pasan a ser producciones actuales de  $A_i$

fin\_si

fin\_para

fin\_para

fin\_para

fin

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 7 / 9)

- *Paso 2 (continuación)*
  - *Las reglas de producción resultantes serán de la forma:*

$$A_i \longrightarrow a \gamma$$

$$A'_i \longrightarrow \gamma$$

- *En particular, todas la reglas de los **símbolos no terminales originales** estarán en la forma normal de Greibach.*

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 8 / 9)

- *Paso 3. Transformación de las reglas de los símbolos obtenidos al eliminar la recursividad inmediata.*

inicio

para  $i$  de 1 a  $m$  hacer

para  $j$  de 1 a  $n$  hacer

para cada regla actual de  $A'_i$  de la forma  $A'_i \rightarrow A_j \gamma$

hacer si  $A_j \rightarrow a_1 \alpha_1 \mid a_2 \alpha_2 \mid \dots \mid a_p \alpha_p$  son las reglas actuales de  $A_j$

entonces  $A'_i \rightarrow a_1 \alpha_1 \gamma \mid a_2 \alpha_2 \gamma \mid \dots \mid a_p \alpha_p \gamma$

*pasan a ser reglas actuales de  $A'_i$*

fin si

fin para

fin para

fin para

fin

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Algoritmo (Obtención de la forma normal de Greibach 9 / 9)

- *Paso 3. (Continuación)*

*Las reglas de producción resultantes serán de la forma:*

$$A_i \longrightarrow a \gamma$$

$$A'_i \longrightarrow a \gamma$$

*Por tanto, todas la reglas estarán en la forma normal de Greibach.*

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 1 / 10)

- Gramática que está en la forma normal de *Chomsky*.

$$P = \{$$

(1)  $S \rightarrow A B$

(2)  $A \rightarrow S B$

(3)  $A \rightarrow a$

(4)  $B \rightarrow B A$

(5)  $B \rightarrow d$

$$\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 2 / 10)

- *Paso 1. Eliminación de la recursividad general por la izquierda*

(1) *Procesamiento de la regla de S*

- S es el **primer** símbolo y, por tanto, su alternativa no comienza por un símbolo con un número de orden menor.
- S **no** tiene recursividad inmediata por la izquierda.
- La regla de S se añade a  $P_1$

$$S \rightarrow A B$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 3 / 10)

- *Paso 1. Eliminación de la recursividad general por la izquierda*

(2) *Procesamiento de las reglas de A*

- *S aparece en la regla de A*

$$A \rightarrow S B$$

*Se sustituye S por su alternativa y se genera nueva regla de A*

$$A \rightarrow A B B$$

- *Eliminación de la recursividad **inmediata** por la izquierda de A.*

*Las reglas actuales de A*

$$A \rightarrow A B B \mid a$$

*se sustituyen por*

$$A \rightarrow a \mid a A'$$

$$A' \rightarrow B B \mid B B A'$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 4 / 10)

- *Paso 1. Eliminación de la recursividad general por la izquierda*
- (3) *Procesamiento de las reglas de B*
  - *No hay sustituir ningún símbolo en las reglas de B.*
  - *Eliminación de la recursividad **inmediata** por la izquierda de B.*

*Las reglas actuales de B*

$$B \longrightarrow B A \mid d$$

*se sustituyen por*

$$B \longrightarrow d \mid d B'$$

$$B' \longrightarrow A \mid A B'$$



# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 5 / 10)

- Paso 1. Eliminación de la recursividad general por la izquierda*  
*Gramática generada en el paso 1*

$$P_1 = \left\{ \begin{array}{l} S \rightarrow A B \\ A \rightarrow a \mid a A' \\ B \rightarrow d \mid d B' \\ A' \rightarrow B B \mid B B B' \\ B' \rightarrow A \mid A B' \end{array} \right\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 6 / 10)

- *Paso 2. Transformación de las reglas de los símbolos no terminales originales.*

- (1) *Las reglas de B ya están en la forma normal de Greibach.*

$$B \rightarrow d \mid d B'$$

- (2) *Las reglas de A ya están en la forma normal de Greibach.*

$$A \rightarrow a \mid a A'$$

- (3) *Transformación de las reglas de S*

*Se sustituye A por sus alternativas en la regla*

$$S \rightarrow A B$$

*Se generan las siguientes reglas*

$$S \rightarrow \underline{a} B \mid \underline{a} A' B$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 7 / 10)

- *Paso 2. Transformación de las reglas de los símbolos no terminales originales.*

*Gramática generada en el paso 2*

$$\begin{aligned}
 P_2 = \{ & \\
 & S \longrightarrow a B \mid a A' B \\
 & A \longrightarrow a \mid a A' \\
 & B \longrightarrow d \mid d B' \\
 & A' \longrightarrow B B \mid B B B' \\
 & B' \longrightarrow A \mid A B' \\
 & \}
 \end{aligned}$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 8 / 10)

- *Paso 3. Transformación de las reglas de los símbolos no terminales generados al eliminar la recursividad inmediata por la izquierda.*

- *Transformación de las reglas de  $A'$*

$$A' \longrightarrow B B \mid B B A'$$

*se sustituye  $B$  por sus alternativas y se generan las reglas:*

$$A' \longrightarrow \underline{d} B \mid \underline{d} B A' \mid \underline{d} B' B \mid \underline{d} B' B A'$$

- *Transformación de las reglas de  $B'$*

$$B' \longrightarrow A \mid A B'$$

*se sustituye  $A$  por sus alternativas y se generan las reglas:*

$$B' \longrightarrow \underline{a} \mid \underline{a} A' \mid \underline{a} B' \mid \underline{a} A' B'$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejemplo (Obtención de la forma normal de Greibach 9 / 10)

- Paso 3. Gramática generada

$$P_3 = \{$$

$$S \rightarrow a B \mid a A' B$$

$$A \rightarrow a \mid a A'$$

$$B \rightarrow d \mid d B'$$

$$A' \rightarrow d B \mid d B A' \mid d B' B \mid d B' B A'$$

$$B' \rightarrow a \mid a A' \mid a B' \mid a A' B'$$

$$\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

**Ejemplo** (Obtención de la forma normal de Greibach 10 / 10)

$$P' = \{$$
$$S \rightarrow a B \mid a A' B$$
$$A \rightarrow a \mid a A'$$
$$B \rightarrow d \mid d B'$$
$$A' \rightarrow d B \mid d B A' \mid d B' B \mid d B' B A'$$
$$B' \rightarrow a \mid a A' \mid a B' \mid a A' B'$$
$$\}$$

# Formas normales

## Forma normal de Greibach

### Ejercicio (Obtención de la forma normal de Greibach)

$$P = \left\{ \begin{array}{l} (1) S \longrightarrow T \text{ identificador } ( P ) ; \\ (2) T \longrightarrow \text{int} \\ (3) P \longrightarrow \text{identificador } P' \\ (4) P' \longrightarrow , \text{ identificador } P' \\ (5) P' \longrightarrow \epsilon \end{array} \right\}$$

### Nota

*Previamente, hay que convertirla a la forma normal de Chomsky.*

# Tipos de análisis sintáctico

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico**
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos



# Tipos de análisis sintáctico

- 7 Tipos de análisis sintáctico
  - Métodos universales
  - Métodos descendentes
  - Métodos ascendentes

# Contenido de la sección

- 7 Tipos de análisis sintáctico
  - Métodos universales
  - Métodos descendentes
  - Métodos ascendentes

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos universales

### Tipos de análisis sintáctico

- Métodos universales
  - Algoritmo de **CYK**: Cocke, Younger, Kasami.
  - Algoritmo de **Earley**.
  - Algoritmo de **GHR**: Graham, Harrison, Ruzzo.

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos universales

### Tipos de análisis sintáctico

- Métodos universales
  - **Ventaja**
    - Se pueden aplicar a **todas** las gramáticas.
  - **Inconvenientes**
    - Complejidad computacional muy alta
    - En el peor de los casos, la complejidad es cúbica:  $O(n^3)$
    - El algoritmo **CYK** requiere que la gramática se transforme previamente a la **FNC**.

# Contenido de la sección

- 7 Tipos de análisis sintáctico
  - Métodos universales
  - Métodos descendentes
  - Métodos ascendentes

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Métodos descendentes

- Generan un **derivación** por la **izquierda** de la cadena de entrada
- El **árbol sintáctico** se genera de **arriba hacia abajo**:
  - desde la raíz hasta las hojas

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Gramática de las expresiones aritméticas)

- $$P = \{$$
- (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow T E'$
  - (3)  $E' \rightarrow + T E'$
  - (4)  $E' \rightarrow \epsilon$
  - (5)  $T \rightarrow F T'$
  - (6)  $T' \rightarrow * F T'$
  - (7)  $T' \rightarrow \epsilon$
  - (8)  $F \rightarrow ( E )$
  - (9)  $F \rightarrow \text{identificador}$
  - (10)  $F \rightarrow \text{número}$
- $$\}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

1 / 2

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{T} E'$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \underline{F T'} E'$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} \underline{\in} E'$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} \underline{+ T E'}$$



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

1 / 2

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{T} E'$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \underline{F T'} E'$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} \underline{\in} E'$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} \underline{+ T E'}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

1 / 2

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = T E'$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = F T' E'$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} \in E'$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + T E'$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

1 / 2

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = T E'$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = F T' E'$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} \in E'$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + T E'$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

1 / 2

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = T E'$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = F T' E'$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} \in E'$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + T E'$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

1 / 2

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = T E'$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = F T' E'$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} \in E'$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + T E'$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

1 / 2

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = T E'$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = F T' E'$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} \in E'$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = \text{identificador} + T E'$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 2

$$\begin{aligned}
 &\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F T' E'} \\
 &\xRightarrow{10} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} T' E' \\
 &\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{F T' E'} \\
 &\xRightarrow{9} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}} T' E' \\
 &\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\epsilon} E' \\
 &\xRightarrow{4} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\epsilon} \\
 &= \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}
 \end{aligned}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 2

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{10} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} T' E'$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in} E'$$

$$\xRightarrow{4} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in}$$

$$= \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 2

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{10} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} T' E'$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\epsilon} E'$$

$$\xRightarrow{4} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\epsilon}$$

$$= \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 2

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{10} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} T' E'$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in E'}$$

$$\xRightarrow{4} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in}$$

$$= \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 2

$$\xRightarrow[5]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow[10]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} T' E'$$

$$\xRightarrow[6]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow[9]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow[7]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in E'}$$

$$\xRightarrow[4]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in}$$

$$= \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 2

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{10} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} T' E'$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow{9} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow{7} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in} E'$$

$$\xRightarrow{4} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in}$$

$$= \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda)

2 / 2

$$\xRightarrow[5]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow[10]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \underline{\text{número}} T' E'$$

$$\xRightarrow[6]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{F T' E'}$$

$$\xRightarrow[9]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}} T' E'$$

$$\xRightarrow[7]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in E'}$$

$$\xRightarrow[4]{} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador} \underline{\in}$$

$$= \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \underline{\text{identificador}}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

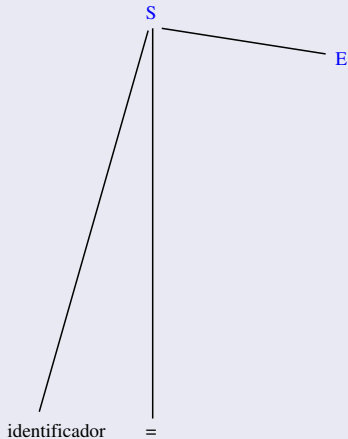
**Ejemplo** (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 1 / 13)

S

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

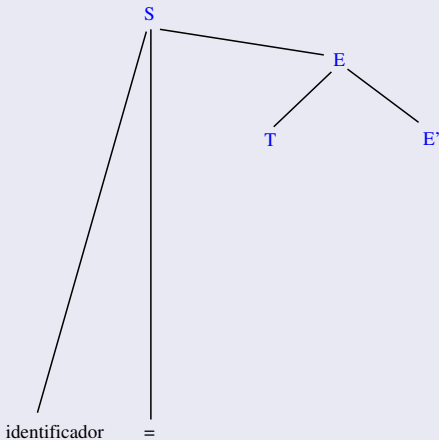
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 2 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 3 / 13)

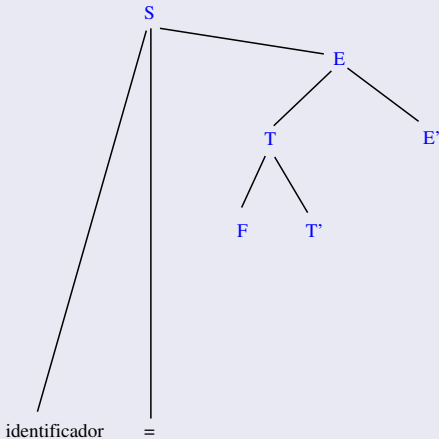




# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

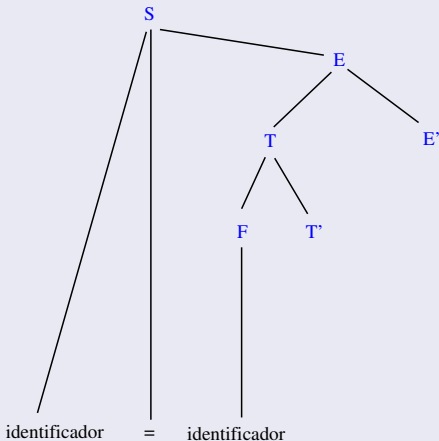
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 4 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

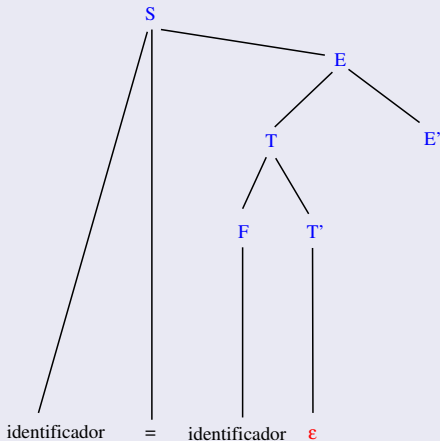
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 5 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

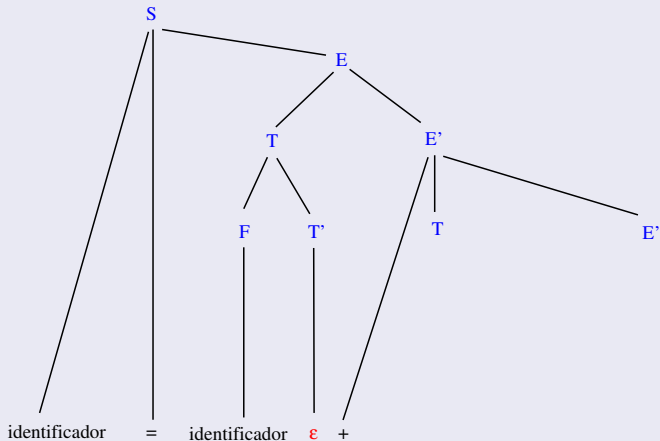
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 6 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

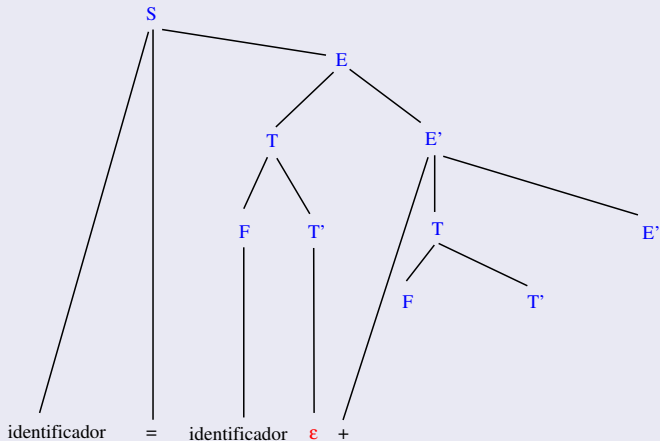
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 7 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

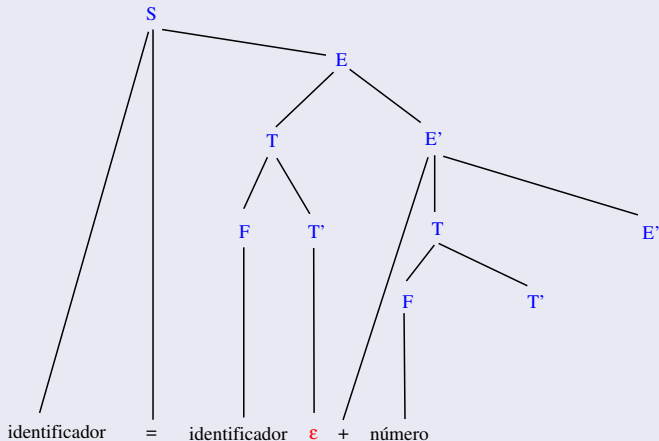
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 8 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

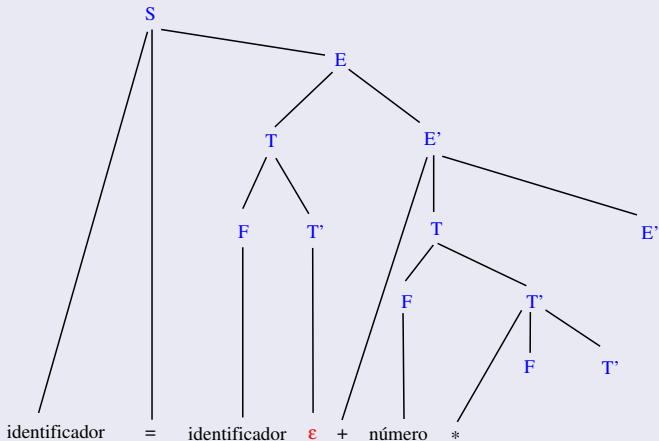
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 9 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

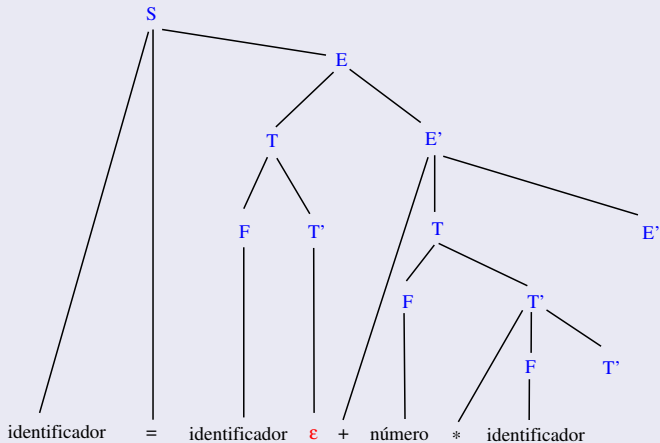
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 10 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 11 / 13)

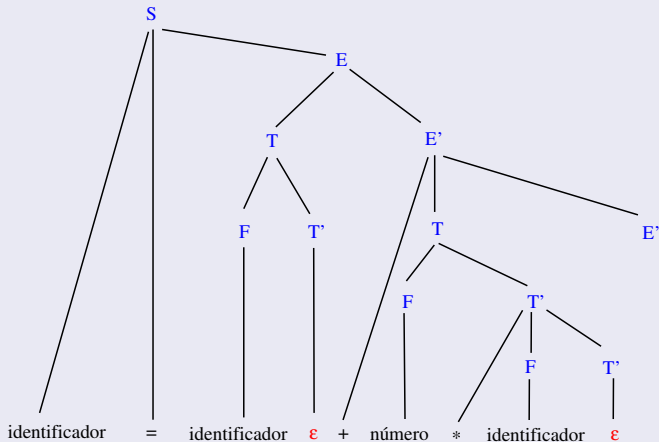




# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

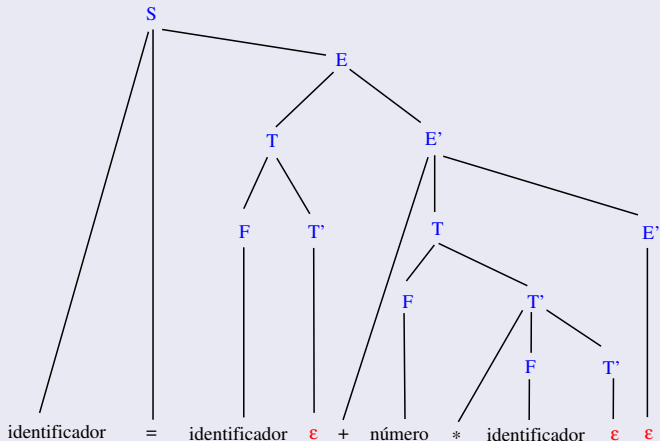
### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 12 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Ejemplo (Derivación por la izquierda: árbol sintáctico 13 / 13)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Métodos descendentes

- **Ventaja**
  - Los métodos de descenso **predictivo** tienen una **complejidad computacional** lineal:  $O(n)$

- **Inconvenientes**

Los métodos descendentes

- No se puede aplicar a gramáticas con **recursividad por la izquierda**.
- No se puede aplicar a gramáticas **no** factorizadas por la izquierda.
- Estas condiciones son **necesarias** pero **no suficientes**:
  - Hay gramáticas **sin** recursividad por la izquierda y factorizadas por la izquierda que **no admiten** un análisis sintáctico descendente.

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos descendentes

### Nota (Métodos descendentes)

- *El tema nº 4 explica las características de los métodos de análisis sintáctico descendente.*

# Contenido de la sección

- 7 Tipos de análisis sintáctico
  - Métodos universales
  - Métodos descendentes
  - Métodos ascendentes

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Métodos descendentes

- Generan una derivación por la **derecha** de la cadena de entrada, pero dicha derivación se genera en **orden inverso**
- El **árbol sintáctico** se genera de **abajo hacia arriba**:
  - desde las hojas hasta la raíz

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha: gramática)

- $P = \{$ 
  - (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$ $\}$

### Nota

Esta gramática es *recursiva por la izquierda* y *no* está factorizada por la izquierda.

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha en orden inverso)

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha en orden inverso)

$$S \xRightarrow{1} \underline{\text{identificador}} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha en orden inverso)

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = E + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + E * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \text{número} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha en orden inverso)

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = E + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + E * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \text{número} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha en orden inverso)

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = E + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + E * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \text{número} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha en orden inverso)

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = \underline{E}$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = \underline{E + E}$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + \underline{E * E}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \underline{\text{identificador}}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \underline{\text{número}} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \underline{\text{identificador}} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Ejemplo (Derivación por la derecha en orden inverso)

$$S \xRightarrow{1} \text{identificador} = E$$

$$\xRightarrow{2} \text{identificador} = E + E$$

$$\xRightarrow{3} \text{identificador} = E + E * E$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = E + E * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{5} \text{identificador} = E + \text{número} * \text{identificador}$$

$$\xRightarrow{6} \text{identificador} = \text{identificador} + \text{número} * \text{identificador}$$

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

**Ejemplo** (Derivación por la derecha: árbol sintáctico 1 / 7)

identificador = identificador + número \* identificador

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

Ejemplo (Derivación por la derecha: árbol sintáctico 2 / 7)

E

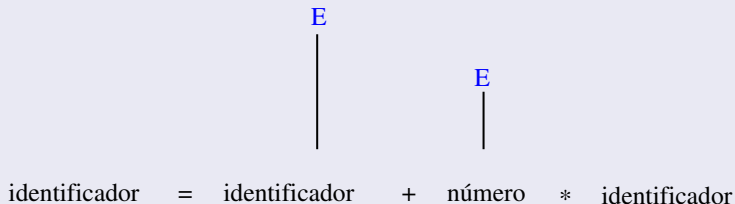
identificador = identificador + número \* identificador



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

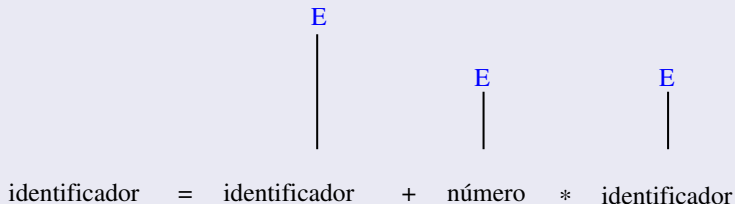
**Ejemplo** (Derivación por la derecha: árbol sintáctico 3 / 7)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

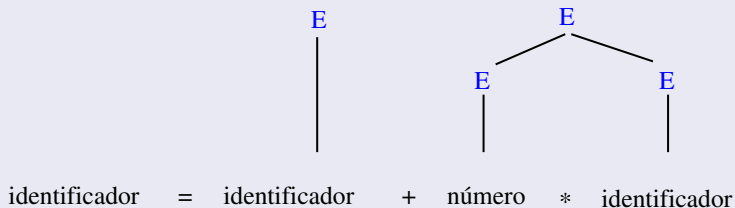
Ejemplo (Derivación por la derecha: árbol sintáctico n 4 / 7)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

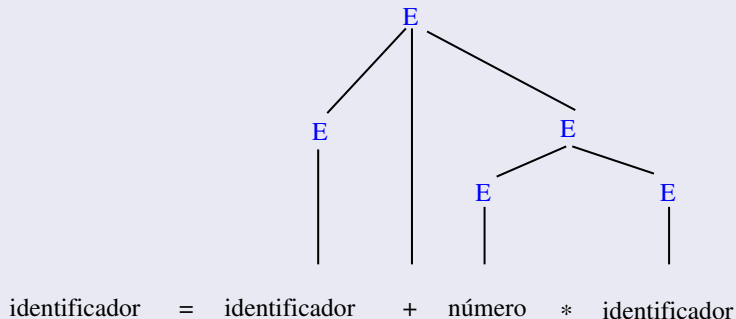
**Ejemplo** (Derivación por la derecha: árbol sintáctico 5 / 7)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

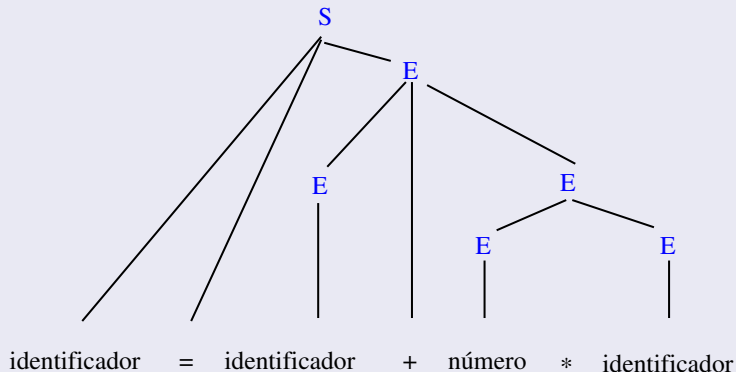
**Ejemplo** (Derivación por la derecha: árbol sintáctico 6 / 7)



# Tipos de análisis sintáctico

Métodos ascendentes

**Ejemplo** (Derivación por la derecha: árbol sintáctico 7 / 7)



# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Métodos ascendentes

- **Ventajas**
  - Su **complejidad computacional** es lineal:  $O(n)$
  - Son **más potentes** que los métodos descendentes
  - Los métodos ascendentes **se pueden** aplicar a gramáticas con recursividad por la izquierda o no factorizadas por la izquierda.
- **Inconveniente**
  - Algunas gramáticas **no admiten** un análisis sintáctico ascendente.

# Tipos de análisis sintáctico

## Métodos ascendentes

### Nota (Métodos ascendentes)

- *El tema nº 5 explica las características de los métodos de análisis sintáctico ascendente.*

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos**
- 9 Generadores de analizadores sintácticos



# Detección y tratamiento de errores sintácticos

- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
  - Detección de errores sintácticos
  - Tratamiento de los errores sintácticos

# Contenido de la sección

- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
  - Detección de errores sintácticos
  - Tratamiento de los errores sintácticos

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Detección de errores sintácticos

### Detección de errores sintácticos

- Se origina al procesar un **componente léxico correcto** pero **inesperado**.
- Se **infringe** alguna regla sintáctica de lenguaje de programación.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Detección de errores sintácticos

### Ejemplo (Detección de errores sintácticos)

1 / 3

- *Palabra reservada **mal** escrita, pero es un identificador correcto*

**fi**  $(x \geq 0)$   $y = \text{sqrt}(x);$

- *Ubicación errónea de palabras reservadas*

$(x \geq 0)$  **if**  $y = \text{sqrt}(x);$

- *Repetición de palabras reservadas*

**if if**  $(x \geq 0)$   $y = \text{sqrt}(x);$

- *Omisión de una palabra reservada*

**\_**  $(x \geq 0)$   $y = \text{sqrt}(x);$

- *Palabra reservada **inesperada***

**if for**  $(x \geq 0)$   $y = \text{sqrt}(x);$

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Detección de errores sintácticos

### Ejemplo (Errores sintácticos)

2 / 3

- *Uso de una palabra reservada de otro lenguaje (Pascal)*

```
if (x ≥ 0) then y = sqrt(x);
```

- *Paréntesis no emparejados o balanceados*

```
a = (2 * 3) + 5 ) ;
```

```
a = (2 * 3 + 5 ;
```

- *Ausencia de operador*

```
a = (2 _ 3) + 5 ;
```

- *Ausencia de argumento*

```
a = (2 * _ ) + 5 ;
```

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Detección de errores sintácticos

### Ejemplo (Errores sintácticos)

3 / 3

- *Operador de asignación de otro lenguaje (Pascal)*  
 $a := (2 * 3) + 5 ;$
- **Omisión** de *punto y coma de fin de sentencia*  
 $a = (2 * 3) + 5 \_$
- **Omisión** de *separadores (comas)*  
 $a = atan2(x \_ y)$
- **Omisión** de *argumento*  
 $a = atan2(\_ , y)$
- *Etc.*

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Detección de errores sintácticos

### Ejemplo (Error sintáctico no detectado)

```
while (n > 1) ;  
  {  
    factorial = factorial * n;  
    n = n - 1;  
  }
```

# Contenido de la sección

- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
  - Detección de errores sintácticos
  - Tratamiento de los errores sintácticos



# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Criterios **generales** para el tratamiento de los errores

- Informar del error
  - + Localización: ubicación del error dentro del código.
  - + Descripción: motivo o características del error
- Evitar la cascada de errores
  - + Informar una sola vez de cada error.
  - + Si un error es producido por otro entonces sólo se debe informar del primero.
- Reparar el error, si es posible, e informar de la corrección realizada.
- Continuar con el proceso de traducción para detectar otros posibles errores.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Criterios **generales** para el tratamiento de los errores

- Informar del error
  - + Localización: ubicación del error dentro del código.
  - + Descripción: motivo o características del error
- Evitar la cascada de errores
  - + Informar una sola vez de cada error.
  - + Si un error es producido por otro entonces sólo se debe informar del primero.
- Reparar el error, si es posible, e informar de la corrección realizada.
- Continuar con el proceso de traducción para detectar otros posibles errores.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Criterios **generales** para el tratamiento de los errores

- Informar del error
  - + Localización: ubicación del error dentro del código.
  - + Descripción: motivo o características del error
- Evitar la cascada de errores
  - + Informar una sola vez de cada error.
  - + Si un error es producido por otro entonces sólo se debe informar del primero.
- Reparar el error, si es posible, e informar de la corrección realizada.
- Continuar con el proceso de traducción para detectar otros posibles errores.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Criterios **generales** para el tratamiento de los errores

- Informar del error
  - + Localización: ubicación del error dentro del código.
  - + Descripción: motivo o características del error
- Evitar la cascada de errores
  - + Informar una sola vez de cada error.
  - + Si un error es producido por otro entonces sólo se debe informar del primero.
- Reparar el error, si es posible, e informar de la corrección realizada.
- Continuar con el proceso de traducción para detectar otros posibles errores.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Nota (Reparación del error)

- **Siempre** *debe ser revisada después por el programador.*
- Sólo **propone** *una solución, que no tiene por qué ser la correcta.*
- Sólo *pretende que el proceso de traducción* **continúe** ... *para detectar más errores.*

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Métodos de recuperación de errores sintácticos

- (a) Modo de pánico
- (b) Método de nivel de frase
- (c) Reglas de producción de control de errores
- (d) Corrección global

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Métodos de recuperación de errores sintácticos

- (a) Modo de pánico
- (b) Método de nivel de frase
- (c) Reglas de producción de control de errores
- (d) Corrección global

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Modo de pánico

- Al detectar un **error**, se **elimin**an componentes léxicos de la entrada hasta que se encuentra un **componente léxico** de **sincronización**.



# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Ejemplo (Componente léxico de sincronización)

- *Palabra clave que inicie una sentencia: **if, while, for, etc.***
- *Fin de sentencia: ;*
- *Etc.*

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Modo de pánico

- **Ventajas**
  - Sencillo de aplicar
  - No cae en bucles infinitos
  - Permite continuar el análisis para detectar más errores.
- **Inconvenientes**
  - Método de aplicación local
  - No es capaz de detectar todos los errores posibles cuando busca el componente léxico de sincronización.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Métodos de recuperación de errores sintácticos

- (a) Modo de pánico
- (b) Método de nivel de frase
- (c) Reglas de producción de control de errores
- (d) Corrección global

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Método de nivel de frase

- Al detectar un **error**,  
intenta realizar una transformación simple que permita corregir o reparar el error y continuar el análisis.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Método de nivel de frase

- Tipos de transformaciones:
  - + **Eliminar** un componente léxico
  - + **Insertar** un componente léxico
  - + **Sustituir** un componente léxico

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Nota (Método de nivel de frase)

- *Se debe informar de la transformación realizada.*
- *La transformación no pretende corregir el error, sino continuar con el análisis sintáctico.*
- *Posteriormente, el programador deberá supervisar la transformación realizada.*

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Método de nivel de frase

- **Ventajas**

- Puede hacer correcciones de errores habituales conocidos a priori.
- Permite continuar el análisis para detectar más errores.

- **Inconvenientes**

- Requiere un buen conocimiento del lenguaje para predecir los errores que se pueden producir.
- Método de aplicación local.
- Puede provocar bucles infinitos
- Difícil de aplicar cuando el error se encuentra muy lejos del punto de detección.

Por ejemplo: llave final } no balanceada

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Nota (Método de nivel de frase)

- *Es uno de los métodos más utilizados para la recuperación de errores sintácticos*



# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Métodos de recuperación de errores sintácticos

- (a) Modo de pánico
- (b) Método de nivel de frase
- (c) Reglas de producción de control de errores
- (d) Corrección global

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Reglas de producción de control de errores

- Se amplía la gramática con **nuevas reglas de producción** que **modelan** posibles situaciones de **error**.
- Si se **utilizan** dichas reglas de producción durante el análisis sintáctico entonces **se activa una función de recuperación de error**.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Ejemplo (Regla de control de error)

- $P = \{$ 
  - (1)  $S \rightarrow \text{identificador} = E$
  - (1')  $S \rightarrow \text{constante} = E$
  - (2)  $E \rightarrow E + E$
  - (3)  $E \rightarrow E * E$
  - (4)  $E \rightarrow ( E )$
  - (5)  $E \rightarrow \text{número}$
  - (6)  $E \rightarrow \text{identificador}$
  - (7)  $E \rightarrow \text{constante}$ $\}$

### Nota

- Detecta una asignación a una constante

$PI = 999999;$

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Reglas de producción de control de errores

- **Ventajas**
  - Pueden corregir errores habituales que son conocidos a priori.
  - Permite continuar el análisis sintáctico para detectar más errores.
- **Inconvenientes**
  - Requiere un buen conocimiento del lenguaje para predecir los errores que se pueden producir.
  - Método de aplicación local.
  - Al introducir nuevas reglas, puede que la gramática no admita el análisis sintáctico por la generación de **conflictos**.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Métodos de recuperación de errores sintácticos

- (a) Modo de pánico
- (b) Método de nivel de frase
- (c) Reglas de producción de control de errores
- (d) Corrección global

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Corrección global

- Es un método **teórico** basado en los anteriores, fundamentalmente el método de nivel de frase.
- Dado un programa con **errores**, intenta realizar el **menor número de transformaciones** para obtener otro programa **correcto**.

# Detección y tratamiento de errores sintácticos

## Tratamiento de los errores sintácticos

### Reglas de producción de error

- **Ventajas**
  - Proporciona una escala para evaluar las técnicas de recuperación de errores.
- **Inconvenientes**
  - La complejidad temporal y espacial es muy alta.
  - El programa **sintácticamente correcto** que se genera puede ser **semánticamente diferente** del programa original.

# Generadores de analizadores sintácticos

- 1 Introducción
- 2 Gramáticas de contexto libre
- 3 Ambigüedad
- 4 Operaciones de limpieza
- 5 Recursividad y factorización
- 6 Formas normales
- 7 Tipos de análisis sintáctico
- 8 Detección y tratamiento de errores sintácticos
- 9 Generadores de analizadores sintácticos**



# Generadores de analizadores sintácticos

## 9 Generadores de analizadores sintácticos

# Generadores de analizadores sintácticos

## Definición (Generador de analizador sintáctico)

- **Entrada:** *gramática de contexto libre.*
- **Salida:** *analizador sintáctico.*

# Generadores de analizadores sintácticos

## Tipos de generadores

- Generadores de analizadores sintácticos **descendentes**
- Generadores de analizadores sintácticos **ascendentes**

# Generadores de analizadores sintácticos

## Tipos de generadores

- Generadores de analizadores sintácticos **descendentes**
- Generadores de analizadores sintácticos **ascendentes**

# Generadores de analizadores sintácticos

## Generadores de analizadores sintácticos descendentes 1 / 2

- ANTLR:
  - **Nombre:** *Another Tool for Language Recognition*
  - **Tipo:** LL(K)
  - **Lenguaje:** Java y C++
  - **Web:** <http://www.antlr.org/>
- JavaCC
  - **Nombre:** *Java Compiler Compiler*
  - **Tipo:** LL(K)
  - **Lenguaje:** Java
  - **Web:** <https://javacc.dev.java.net/>

# Generadores de analizadores sintácticos

## Generadores de analizadores sintácticos descendentes 2 / 2

- **LLGen:**
  - **Nombre:**
  - **Tipo:** LL(K), descenso recursivo
  - **Lenguaje:** Java y C++
  - **Web:** <http://www.cs.vu.nl/~ceriel/LLgen.html>
- **COCO/R**
  - **Nombre:** *Java Compiler Compiler*
  - **Tipo:** LL(K), descenso recursivo
  - **Lenguaje:** C, C++, C#, Java
  - **Web:** <http://www.ssw.uni-linz.ac.at/Research/Projects/Coco/>

# Generadores de analizadores sintácticos

## Tipos de generadores

- Generadores de analizadores sintácticos **descendentes**
- Generadores de analizadores sintácticos **ascendentes**

# Generadores de analizadores sintácticos

## Generadores de analizadores sintácticos ascendentes

1 / 4

- YACC:
  - **Nombre:** *Yet Another Compiler – Compiler*
  - **Tipo:** LALR(1)
  - **Lenguaje:** C
  - **Web:** <http://dinosaur.compilertools.net/>
- Bison
  - **Nombre:** *GNU versión libre de YACC*
  - **Tipo:** LALR(1)
  - **Lenguaje:** C
  - **Web:** <http://www.gnu.org/software/bison/>



# Generadores de analizadores sintácticos

## Generadores de analizadores sintácticos ascendentes

2 / 4

- **AYACC:**
  - **Nombre:** *Yet Another Compiler – Compiler*
  - **Tipo:** LALR(1)
  - **Lenguaje:** Ada
  - **Web:** [www.ics.uci.edu/~ arcadia/Aflex-Ayacc/aflex-ayacc.html](http://www.ics.uci.edu/~arcadia/Aflex-Ayacc/aflex-ayacc.html)
- **BYACC**
  - **Nombre:** *Berkeley YACC*
  - **Tipo:** LALR(1)
  - **Lenguaje:** C
  - **Web:** <ftp://ftp.cs.berkeley.edu/ucb/4bsd/byacc.tar.Z>

# Generadores de analizadores sintácticos

## Generadores de analizadores sintácticos ascendentes

3 / 4

- PCYACC:

- **Nombre:** *Yet Another Compiler – Compiler* para MSDOS
- **Tipo:** LALR(1)
- **Lenguaje:** C, C++, Java, Delphi,...
- **Web:** <http://www.abxsoft.com/pcyacc.htm>

- LEMON

- **Nombre:** *Berkeley YACC*
- **Tipo:** LALR(1)
- **Lenguaje:** C
- **Web:** <http://www.hwaci.com/sw/lemon/>

# Generadores de analizadores sintácticos

## Generadores de analizadores sintácticos ascendentes

4 / 4

- CUP:
  - **Nombre:** *constructor of Useful Parser*
  - **Tipo:** LALR(1)
  - **Lenguaje:** Java
  - **Web:** <http://www2.cs.tum.edu/projects/cup/>

# PROCESADORES DE LENGUAJES

## TEMA III.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ANÁLISIS SINTÁCTICO

Prof. Dr. Nicolás Luis Fernández García

Departamento de Informática y Análisis Numérico  
Escuela Politécnica Superior  
Universidad de Córdoba