

# **Autómatas y Lenguajes**

3<sup>er</sup> curso  
1<sup>er</sup> cuatrimestre

Alfonso Ortega: [alfonso.ortega@uam.es](mailto:alfonso.ortega@uam.es)



## **UNIDAD 2: Procesadores de lenguaje**

### **TEMA 7: Análisis sintáctico**

c) Análisis sintáctico ascendente LR(1)



# **Tema 7c: Analizador sintáctico LR(1)**

7c.1 Introducción

7c.2 Conceptos previos

7c.3 Construcción de la tabla de análisis

7c.4 Uso de la tabla

7c.5 Casos finales



7c.1

**Introducción**

# Análisis LR(k)

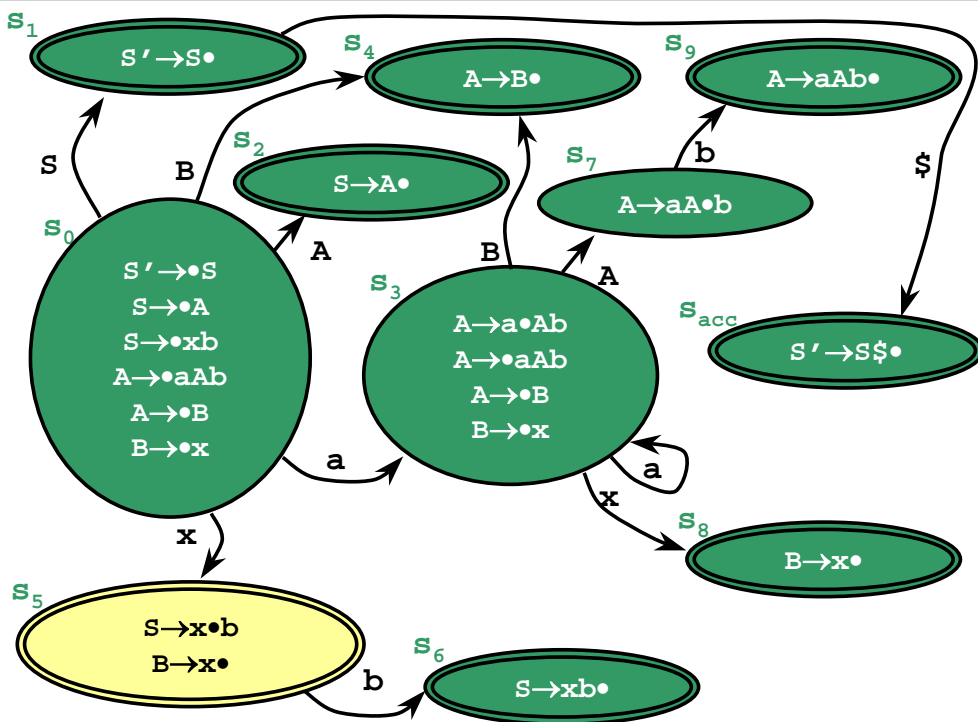
## Carencias del análisis SLR(1)

En el tema anterior, se comprobó el analizador SLR(1):

### Gramática:

- (1)  $S \rightarrow A$
- (2)  $S \rightarrow xb$
- (3)  $A \rightarrow aAb$
- (4)  $A \rightarrow B$
- (5)  $B \rightarrow x$

Con esta gramática, no era capaz en  $s_5$  de decidir si desplazar a  $s_6$ , o bien reducir  $B \rightarrow x$ .



5

# Análisis LR(1)

## Carencias SLR(1)

- Como se puede comprobar en la tabla de análisis había un conflicto reducción / desplazamiento:

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

$\text{primero}(A) = \{a, x\}$

$\text{primero}(B) = \{x\}$

$\text{primero}(S) = \{a, x\}$

$\text{siguiente}(A) = \{\$, b\}$

$\text{siguiente}(B) = \{\$, b\}$

$\text{siguiente}(S) = \{\$\}$

	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
E	a	b	x	\$	S	A	B
0	d3		d5		1	2	4
1				acc			
2				r1			
3	d3		d8			7	4
4		r4		r4			
5		r5/d6		r5			
6				r2			
7		d9					
8		r5		r5			
9		r3		r3			
Acción					lr_a		

6

- Como conclusión podemos observar:
  - Que la indicación SLR(1) de que las reducciones deben hacerse en presencia de los elementos de  $\text{siguiente}(B) = \{b, \$\}$  es correcta.
  - No es suficientemente precisa ya que
    - La reducción de  $s_8$  sólo será posible en presencia de una  $b$ .
    - La reducción de  $s_5$  sólo será posible en presencia de un  $\$$ .
- SLR(1) simplemente asigna la acción de reducir para todos los símbolos que siguen a la parte izquierda ( $\text{siguiente}(B)$ ) perdiendo la información descrita en los puntos anteriores. Tal vez sea ésta la razón del conflicto estudiado.
- LR(1) pretenderá (llevando cuenta de la información en presencia de la que realmente se pueden realizar las acciones) minimizar este tipo de conflictos guardando con cada configuración lo que se conocerá como **conjunto de símbolos de adelanto** (símbolos de entrada en presencia de los cuales se pueden realizar las acciones)

7c.2

Conceptos previos

## Análisis LR(1)

### Idea intuitiva de símbolo *de adelanto*: necesidad de LR(k) con $k=1$

- Como se ha explicado en el tema dedicado a SLR(1), se consulta el conjunto *siguiente* para determinar, en los estados de reducción, para qué símbolos se realiza la reducción.
- Desde SLR(1), se ha tenido en cuenta sin definirlo el **concepto clave de símbolo de adelanto**. Utilizar este símbolo significa **tener en cuenta** determinar algún aspecto de las acciones que el analizador va a realizar (por ejemplo reducir o no) teniendo en cuenta el siguiente símbolo aún no analizado de la entrada, al que se le da el nombre de **símbolo de adelanto o de "look-ahead"**
- Reducir una regla R en un estado s para los elementos del conjunto **siguiente** es como **considerar todos los símbolos de adelanto para R en todos los estados posibles**.

## Análisis LR(1)

### Idea intuitiva de símbolo *de adelanto*: necesidad de LR(k) con $k=1$

- Cada estado del autómata que reconoce los prefijos viables se divide en tantas copias como distintas cadenas de k símbolos puedan ser necesarias:
  - En SLR(1) se reduce una regla  $A := \alpha$  para todos los terminales que pudieran seguir a su parte izquierda **mediante cualquier combinación de sus posibles reglas en cualquier árbol de derivación**. ( $\text{siguientes}(A)$ )
  - Para tener en cuenta los símbolos que pueden seguir la regla concreta que se quiera reducir en un estado concreto y no todo  $\text{siguientes}(A)$  tendríamos que llevar copias, en el peor caso, de cada configuración en cada estado combinada con los posibles símbolos terminales de la gramática (cadenas de 1 símbolo de adelanto) lo que supone un número de estados considerablemente mayor.
  - Si consideramos  $k=2$  (cadenas de 2 símbolos de adelanto) el número de posibilidades (diferentes cadenas de 2 símbolos terminales) es todavía mayor.

## Cálculo de los símbolos de adelanto

- Para poder realizar la tabla del análisis LR(1), hay que modificar la forma en que se construye el autómata para incluir los símbolos de adelanto de cada estado.
- En particular, es necesario:
  - Especificar un mecanismo para calcular el conjunto de símbolos *de adelanto* del estado inicial.
  - Especificar el mecanismo para calcular el conjunto de símbolos *de adelanto* de un estado a partir del conjunto del estado desde el que se llega a él.
- Los nuevos estados añadirán de forma explícita a cada una de sus configuraciones el conjunto de símbolos *de adelanto* posibles con la siguiente notación

$$\begin{aligned} S_i = \\ \{ <\text{configuración}>_0 \{ <s \text{ adelanto}>, \dots \}, \\ &\dots \\ <\text{configuración}>_i \{ <s \text{ adelanto}>, \dots \}, \\ &\dots \\ <\text{configuración}>_n \{ <s \text{ adelanto}>, \dots \} \} \end{aligned}$$

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de $s_0$ : ejemplo introductorio

- Es fácil deducir intuitivamente cuál es el conjunto de símbolos de adelanto de la configuración inicial del estado inicial.
- Dado que el estado inicial LR(0) y SLR(1) se calcula mediante el *cierre* de la configuración

$$S' \rightarrow \bullet S \$$$

- Y dado que  $s$  es el antiguo axioma, por lo tanto símbolo no terminal al que debería reducirse el árbol de derivación completo tras terminar el análisis, el único símbolo *de adelanto* que debemos esperar en esta situación es el añadido como final de programa ( $\$$ )
- Por lo tanto, éste componente del estado inicial tendrá como conjunto de posibles símbolos *de adelanto*

$$\{ \$ \}$$

- La siguiente figura muestra esta circunstancia en el ejemplo que estamos estudiando

## Análisis LR(1)

Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de  $s_0$ : ejemplo introductorio

- **Autómata finito determinista de transiciones:**

$s_0$

$S' \rightarrow \bullet S$   
 $S \rightarrow \bullet A$   
 $S \rightarrow \bullet xb$   
 $A \rightarrow \bullet aAb$   
 $A \rightarrow \bullet B$   
 $B \rightarrow \bullet x$

20

## Análisis LR(1)

Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de  $s_0$ : ejemplo introductorio

- **Autómata finito determinista de transiciones:**

$s_0$

$S' \rightarrow \bullet S\{\$\}$

21

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de $s_0$ : ejemplo introductorio

- Tras calcular esta primera configuración podemos completar el estado inicial.
- Para ello tendremos que calcular el *cierre* ( $s' \rightarrow \bullet s \{ \$ \}$ ) ya que el indicador de posición actual delante del no terminal  $s$  implica el mantenimiento de la hipótesis de estar delante de todas las partes derechas de sus reglas.
- Respecto al cálculo de los símbolos de adelanto, sólo es posible que se cambie el conjunto de *símbolos de adelanto* cuando, en el cálculo del cierre de una configuración, se añaden las configuraciones asociadas a las partes derechas del símbolo no terminal que sigue inmediatamente al indicador de posición actual de la configuración
- Ésta es una de esas situaciones: los posibles elementos que tendríamos que añadir por  $s' \rightarrow \bullet s \{ \$ \}$  son los siguientes:

$S \rightarrow \bullet A,$   
 $S \rightarrow \bullet xb,$   
 $A \rightarrow \bullet aAb,$   
 $A \rightarrow \bullet B,$   
 $B \rightarrow \bullet x$

- Para todas ellas,  $\bullet s \{ \$ \}$  significa que, tras procesar  $s$  podremos reducir la regla  $s' \rightarrow \bullet s$  sólo en presencia de  $\$$ .
- Por tanto, todas tendrán como símbolo de adelanto  $\{ \$ \}$  como muestra el esquema

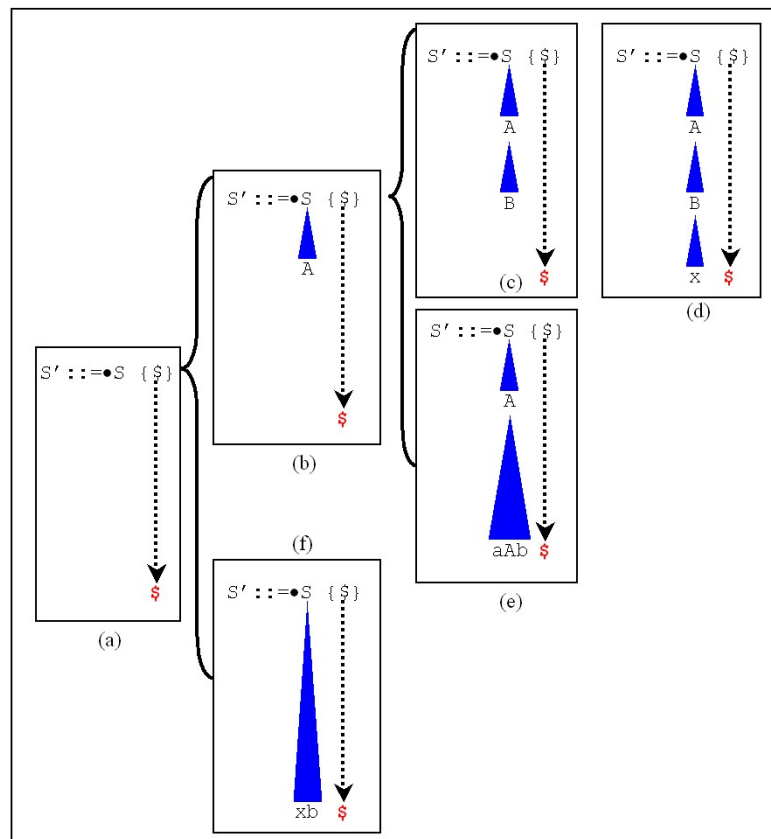
Automatas y Lenguajes (A.O.P.)

22

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de $s_0$ : ejemplo introductorio

- Gráficamente



23



## Análisis LR(1)

Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de  $s_0$ : ejemplo introductorio

- **Autómata finito determinista de transiciones:**

$s_0$

$S' \rightarrow \bullet S \{ \$ \}$   
 $S \rightarrow \bullet A \{ \$ \}$   
 $S \rightarrow \bullet xb \{ \$ \}$   
 $A \rightarrow \bullet aAb \{ \$ \}$   
 $A \rightarrow \bullet B \{ \$ \}$   
 $B \rightarrow \bullet x \{ \$ \}$

24

## Análisis LR(1)

Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de  $s_0$ : ejemplo introductorio

- Por lo tanto, observamos que en estos casos de forma

$$X \rightarrow \alpha \bullet Y \{ \sigma \}$$

- En *cierre*( $X \rightarrow \alpha \bullet Y \{ \sigma \}$ ) no se pueden cambiar los símbolos de adelanto en las configuraciones añadidas
- Intuitivamente, el alumno puede imaginar que eso sólo será posible en casos de forma

$$X \rightarrow \alpha \bullet Y \beta \{ \sigma \}$$

- Y en el caso de que de  $\beta$  se pueda obtener cadenas que comiencen por algún terminal, como se verá a continuación.

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de $s_i$ : ejemplo introductorio

- Este caso se resolverá con ayuda de los conjuntos *primero* cuyo algoritmo se explicó en la construcción de las tablas de análisis SLR(1)
- Informalmente éstos son los pasos
  - Por ejemplo, dado que se conoce el valor de  $s_0$

$$\begin{aligned}s_0 = & \\ & \{S' \rightarrow \bullet S \{ \$ \}, \\ & S \rightarrow \bullet A \{ \$ \}, \\ & S \rightarrow \bullet x b \{ \$ \}, \\ & \underline{A \rightarrow \bullet a A b \{ \$ \}}, \\ & A \rightarrow \bullet B \{ \$ \}, \\ & B \rightarrow \bullet x \{ \$ \}\end{aligned}$$

- Cuando se calcula  $s_5$  como el estado resultado de  $ir_a(s_0, a)$ , el elemento resultado de  $s_0$  origina que  $s_5$  contenga  $A \rightarrow a \bullet A b \{ \$ \}$  (al desplazarse por la parte derecha se mantiene el conjunto de símbolos de adelanto)

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de $s_i$ : ejemplo introductorio

- El cierre de  $A \rightarrow a \bullet A b \{ \$ \}$  implica la inclusión de configuraciones para las situaciones

$$\begin{aligned}A &\rightarrow \bullet a A b \\ A &\rightarrow \bullet B \\ B &\rightarrow \bullet x\end{aligned}$$

- Y en este caso sí es posible tener que cambiar los conjuntos de símbolos *de adelanto* de cada elemento.
  - El cierre de  $A \rightarrow a \bullet A b \{ \$ \}$  significa el mantenimiento de la hipótesis de que podemos encontrarnos cualquier parte derecha del no terminal **A**.
  - Por otro lado también indica que tras procesar **A** deberemos procesar **b** y entonces estaremos en condiciones de reducir la regla  $A \rightarrow a A b$  sólo en presencia de los símbolos *de adelanto* del conjunto  $\{ \$ \}$ .
  - Eso quiere decir que, cualquiera de las configuraciones que cierran  $A \rightarrow a \bullet A b \{ \$ \}$ , es decir,  $A \rightarrow \bullet a A b$  y  $A \rightarrow \bullet B$  tendrán que mantener **b** como *símbolo de adelanto* ya que esa **b** aparece explícitamente tras **A** ( $A \rightarrow a \bullet A \textcolor{red}{b} \{ \$ \}$ )

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de $s_i$ : ejemplo introductorio

- Por lo tanto, los elementos que acaban en  $s_5$  “por culpa” de  $A$  (la culpa de que aparezca  $B \rightarrow \bullet x$  la tiene  $B$ )

$$A \rightarrow \bullet aAb$$
$$A \rightarrow \bullet B$$

- Tienen como símbolo de adelanto  $b$ :

$$A \rightarrow \bullet aAb\{b\}$$
$$A \rightarrow \bullet B\{b\}$$

- La presencia de  $A \rightarrow \bullet B\{b\}$  en  $s_5$  obliga a cerrar con las partes derechas de  $B$ .
- En este caso la situación es distinta, ya que tras la  $B$  no hay ningún símbolo ( $A \rightarrow \bullet B(*)\{b\}$ )
- En este caso el cierre no modifica el conjunto de símbolos *de adelanto* y el elemento que finalmente acabará en  $s_5$  “por culpa” primero de  $A$  y luego de  $B$  es  $B \rightarrow \bullet x\{b\}$

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de $s_i$ : ejemplo introductorio

- Por lo que se puede concluir que

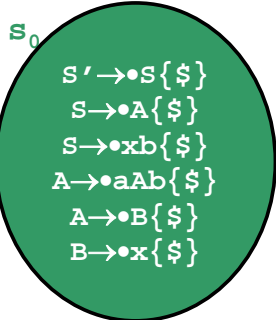
$$\begin{aligned} s_5 = & \\ & \{A \rightarrow a \bullet Ab\{\$ \}, \\ & A \rightarrow \bullet aAb\{b\}, \\ & A \rightarrow \bullet B\{b\}, \\ & B \rightarrow \bullet x\{b\} \} \end{aligned}$$

- Como se refleja en el diagrama de estados

## Análisis LR(1)

Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de  $s_i$ : ejemplo introductorio

- **Autómata finito determinista de transiciones:**

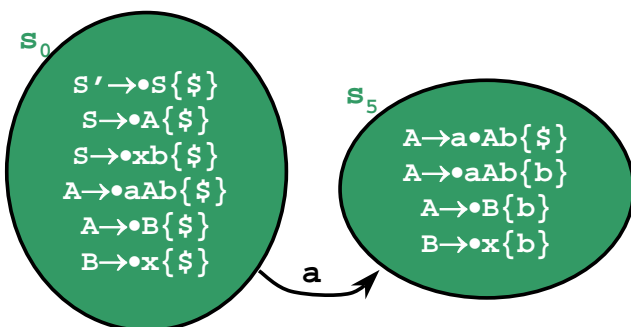


30

## Análisis LR(1)

Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto* de  $s_i$ : ejemplo introductorio

- **Autómata finito determinista de transiciones:**



31

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto*: formalización

- Formalmente, para **calcular los símbolos de adelanto** para el diagrama de estados del autómata finito determinista para los prefijos viables
  - La configuración inicial del estado inicial tiene como conjunto de *símbolos de adelanto*

$$\{\$ \}$$

- En el cálculo de  $cierre(s_i)$  para los elementos de  $s_i$  de la forma

$$P \rightarrow \alpha \cdot N \beta \{ \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n \}, \quad N \in \Sigma_N$$

- Hay que añadir los elementos de la forma

$$N \rightarrow \cdot \gamma, \quad \text{primeros\_LR}(1)(\beta \{ \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n \})$$

- Donde  $\text{primeros\_LR}(1)$  se puede definir en función de  $\text{primeros}(\alpha)$

$$\text{primeros\_LR}(1)(\beta \{ \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n \}) = \bigcup_{i=1}^n \text{primeros}(\beta \sigma_i)$$

- O, de otro modo:

- $\text{primeros}(\beta)$ , si  $\lambda \notin \text{primeros}(\beta)$
- $\text{primeros}(\beta) - \{\lambda\} \cup \{ \sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n \}$ , en otro caso

- En el cálculo de  $ir\_a(s_i, X)$  ( $X \in \Sigma_N \cup \Sigma_T$ ) para los elementos de  $s_i$  de la forma

- Hay que añadir

$$cierre(P \rightarrow \alpha X \cdot \beta \{ \sigma \}), \quad \forall P \rightarrow \alpha \cdot X \beta \{ \sigma \} \in s_i$$

Autómatas y Lenguajes (A.O.P.)

32

## Análisis LR(1)

### Estados LR(1), cálculo de los símbolos *de adelanto*: observación

- Obsérvese que:
  - El conjunto de símbolos de adelanto de la configuración inicial del estado inicial tiene sólo un elemento (\$).
  - Al cerrar una configuración, se utiliza la operación  $\text{primeros}(\beta \sigma_1)$  para una cadena.
  - Esta operación se ha visto que tiene como resultado un conjunto de terminales.
  - Por lo tanto, **el conjunto de símbolos de adelanto**, en general, **puede tener más de un símbolo**

## Análisis LR(1)

### Gramática aumentada

- Para compatibilizar adecuadamente la idea de símbolo de adelanto y el símbolo de fin de análisis se considera en LR(1) la siguiente versión de la gramática aumentada:

- Sea la gramática

$$G = \langle \Sigma_N, \Sigma_T, P, E \rangle \mid \$ \notin \Sigma_T \wedge E' \notin \Sigma_N$$

- La **gramática extendida para LR(1)** es la siguiente:

$$G' = \langle \Sigma_N \cup \{E'\}, \Sigma_T, P \cup \{E' \rightarrow E\}, E' \rangle$$

- Obsérvese que, no como en las técnicas anteriores, \$ ni pertenece a la gramática ni se añade a ella. Su papel es ser el símbolo de adelanto inicial de la configuración inicial del estado inicial.

## Análisis LR(1)

### Algoritmo de cálculo símbolos de adelanto

- Informalmente, cómo calcular los símbolos de adelanto:
- Para las configuraciones donde el axioma está en la parte izquierda de la regla, el símbolo de adelanto es \$
- Para cada configuración del cierre:
  - Si la configuración de partida es de la forma  $S \rightarrow S_1 \dots \bullet S_n$ , las configuraciones que empiecen por  $S_n$  que parten de esta, tienen los mismos símbolos de adelanto que la configuración de partida.
  - Si la configuración de partida es de la forma  $S \rightarrow S_1 \dots \bullet S_i S_{i+1} \dots S_n$ , miramos las configuraciones que empiecen por  $S_i$  y que parten de esta:
    - Si  $\text{Primeros}(S_{i+1} \dots S_n)$  NO contiene  $\lambda$  entonces el conjunto de símbolos de adelanto es  $\text{Primeros}(S_{i+1} \dots S_n)$
    - Si  $\text{Primeros}(S_{i+1} \dots S_n)$  SÍ contiene  $\lambda$  entonces el conjunto de símbolos de adelanto es  $\text{Primeros}(S_{i+1} \dots S_n)$  excepto  $\lambda$  y los símbolos de adelanto que la configuración de partida.

- Dada la siguiente gramática:

$$G = \langle \{O, S, C, P, N, V\}, \{a, j, y\}, \{ \begin{array}{l} O \rightarrow SVC \\ S \rightarrow N \\ C \rightarrow \lambda \mid N \mid P \\ P \rightarrow aN \\ N \rightarrow j \\ V \rightarrow y \mid \lambda \end{array} \}, o \rangle$$

Para el estado inicial:

$O' \rightarrow \bullet O \{ \$ \}$  pues  $O$  es el axioma

$O \rightarrow \bullet SVC \{ \$ \}$  pues no hay más símbolos tras  $\bullet O$

$S \rightarrow \bullet N \{ y, j, a, \$ \}$  pues  $\text{Primeros}(VC) = \{y, j, a, \lambda\}$

$N \rightarrow \bullet j \{ y, j, a, \$ \}$  pues no hay más símbolos tras  $\bullet N$

Para el siguiente estado, tras descubrir  $s$ :

$O \rightarrow s \bullet VC \{ \$ \}$  pues partimos de la configuración  $O \rightarrow \bullet SVC \{ \$ \}$

$V \rightarrow \bullet y \{ j, a, \$ \}$  pues  $\text{Primeros}(C) = \{j, a, \lambda\}$

$V \rightarrow \bullet \{ j, a, \$ \}$  pues  $\text{Primeros}(C) = \{j, a, \lambda\}$

7c.3

## Construcción de la tabla

## Análisis LR(1)

### Ejercicio introductorio

- Construya la tabla de análisis LR(1) de la siguiente gramática que genera el lenguaje  $\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$ 
  - (1)  $S \rightarrow A$
  - (2)  $S \rightarrow xb$
  - (3)  $A \rightarrow aAb$
  - (4)  $A \rightarrow B$
  - (5)  $B \rightarrow x$
- Y utilícela para el análisis de las dos siguientes cadenas:  
 $aaxbb$   
 $ax$
- Lo primero es aumentar la gramática
  - (0)  $S' \rightarrow S$
  - (1)  $S \rightarrow A$
  - (2)  $S \rightarrow xb$
  - (3)  $A \rightarrow aAb$
  - (4)  $A \rightarrow B$
  - (5)  $B \rightarrow x$

Autómatas y Lenguajes (A.O.P.)

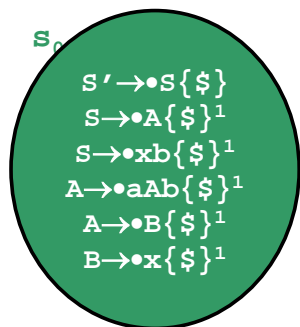
38

## Análisis LR(1)

### Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:**

${}^1\text{primero}(\$) = \{\$ \}$



39



# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

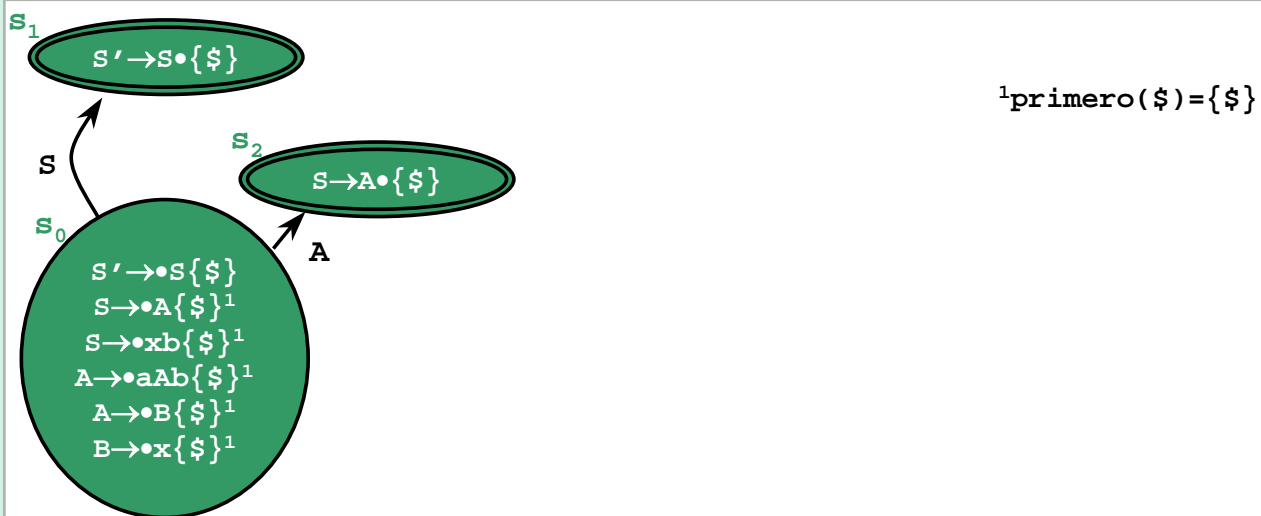


40

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

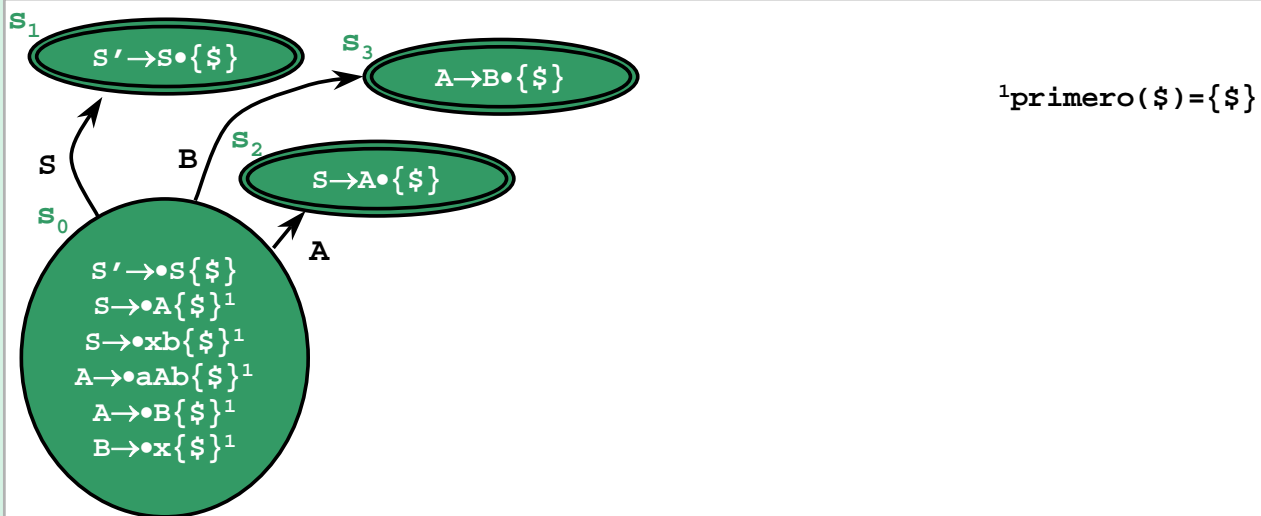


41

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

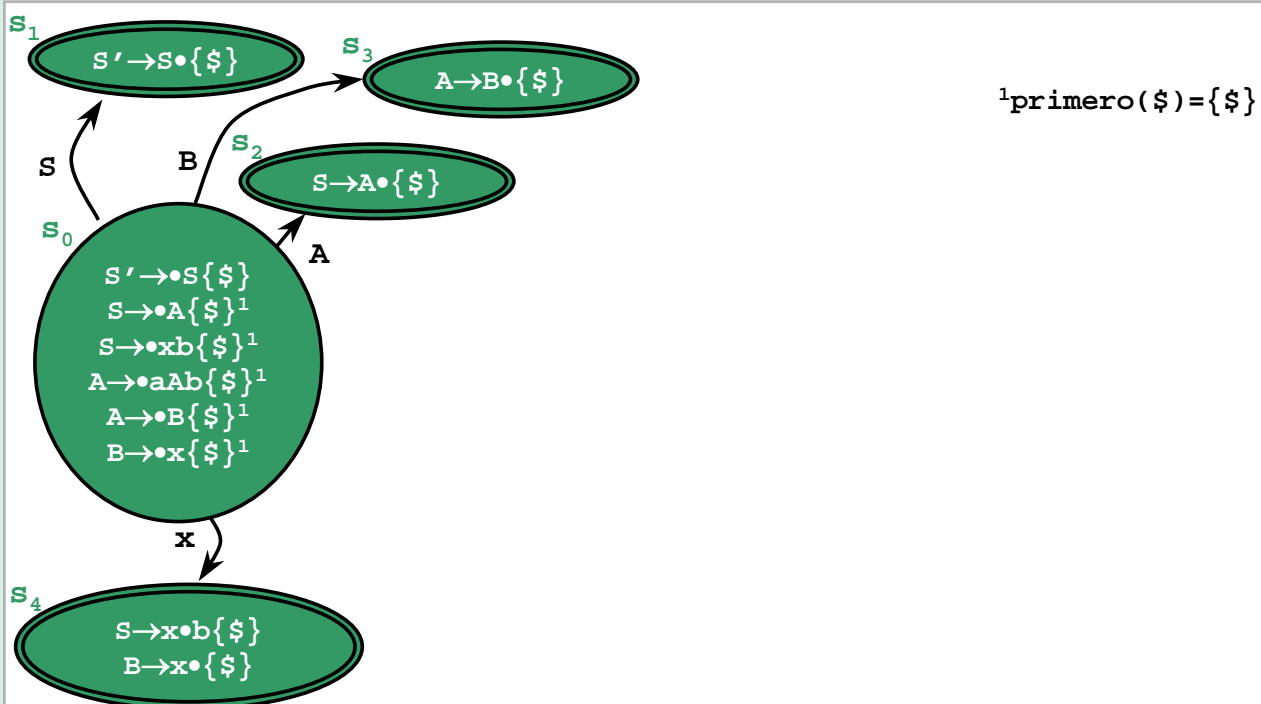


42

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

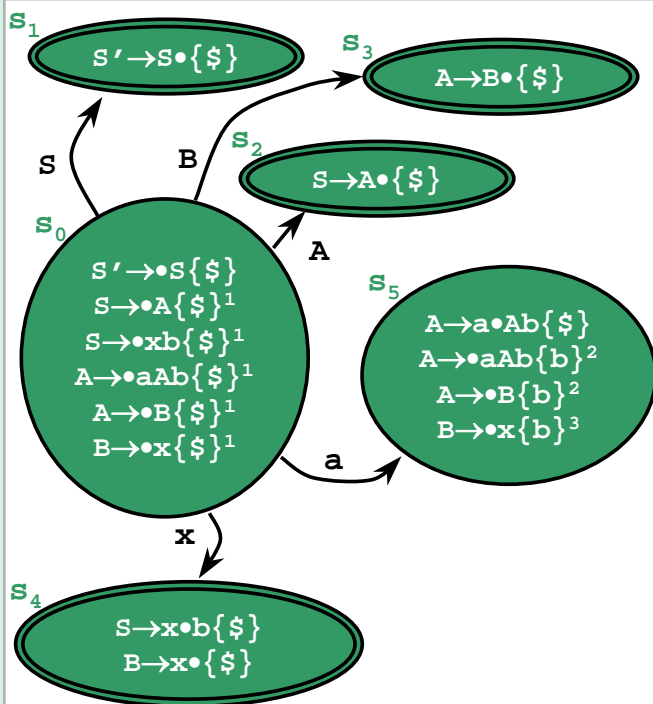


43

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:



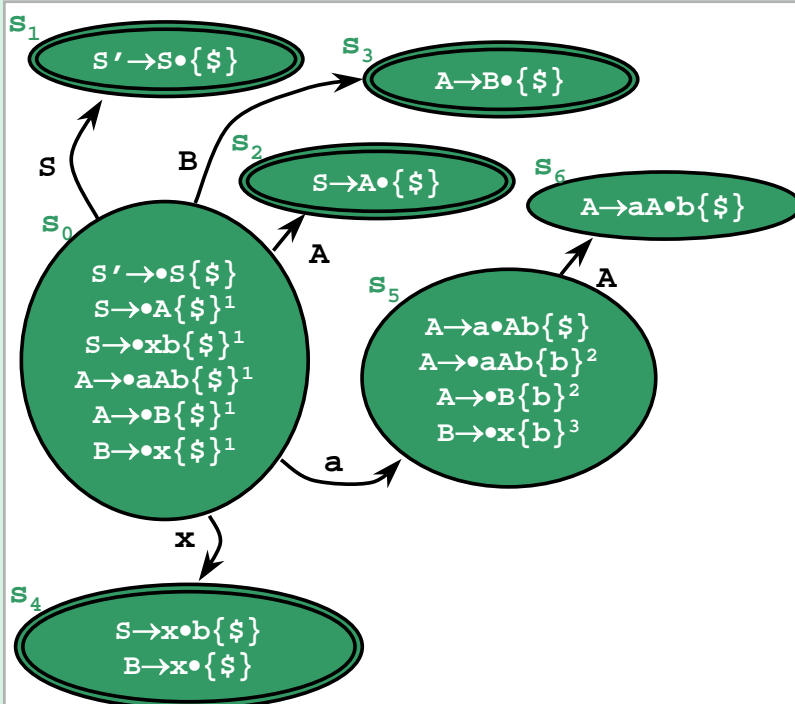
$^1\text{primero}(\$) = \{ \$ \}$   
 $^2\text{primero}(b\$) = \{ b \}$   
 $^3\text{primero}(b) = \{ b \}$

44

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:



$^1\text{primero}(\$) = \{ \$ \}$   
 $^2\text{primero}(b\$) = \{ b \}$   
 $^3\text{primero}(b) = \{ b \}$

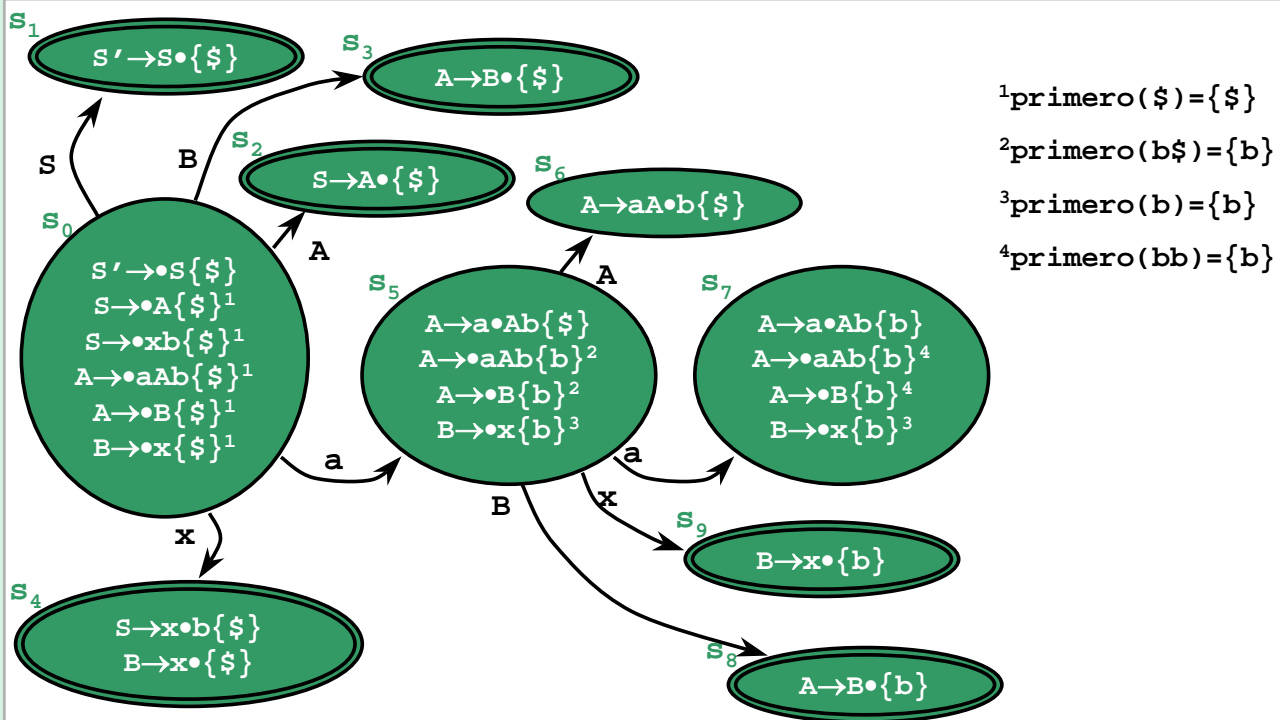
45



# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

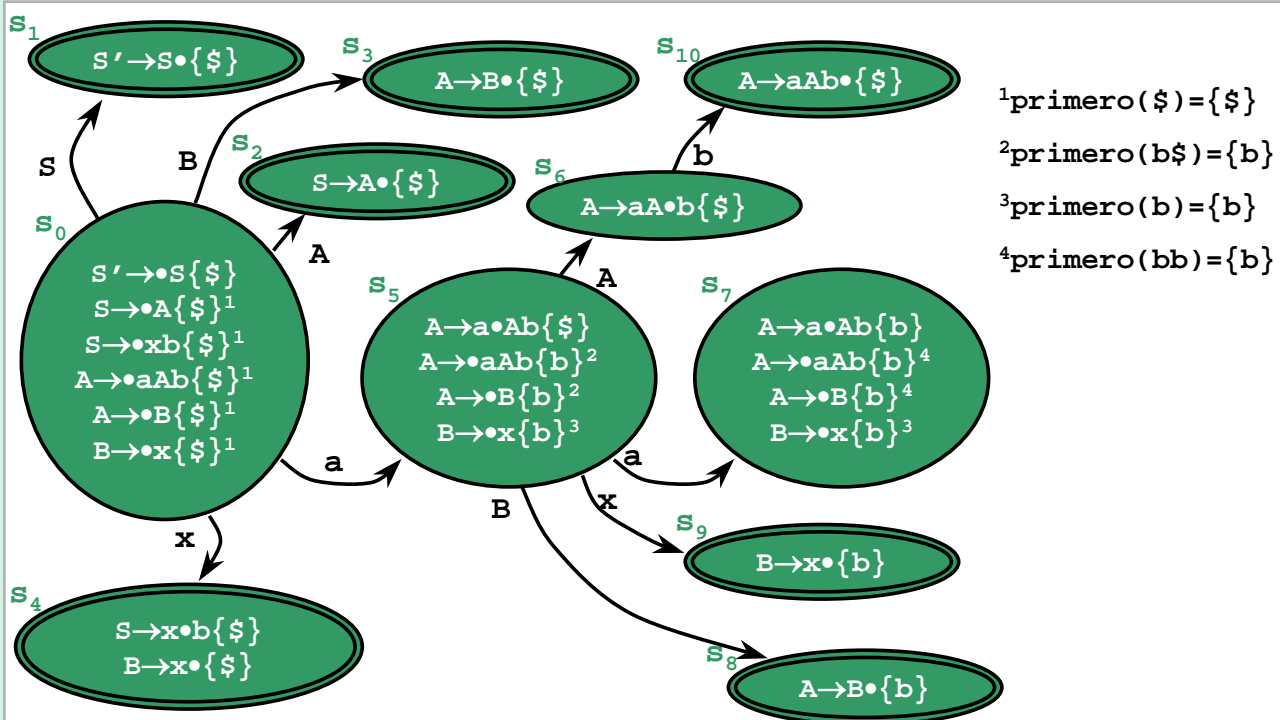


48

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:



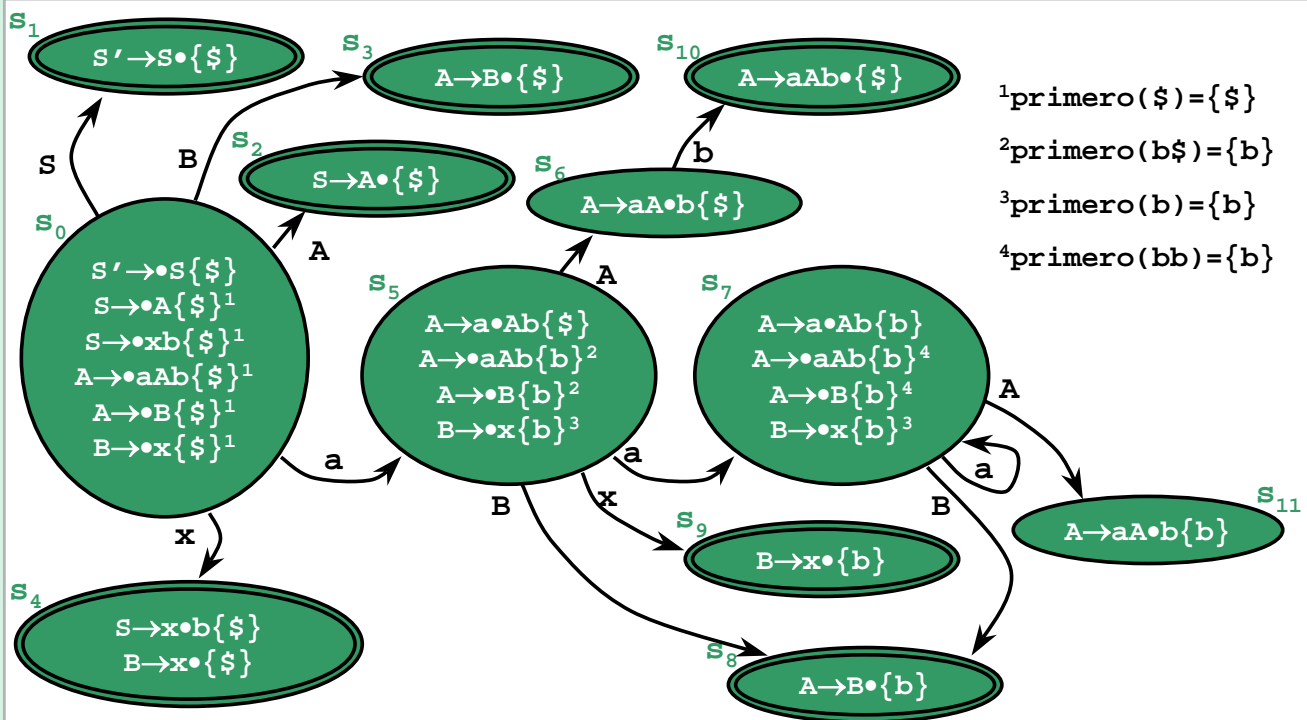
49



# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

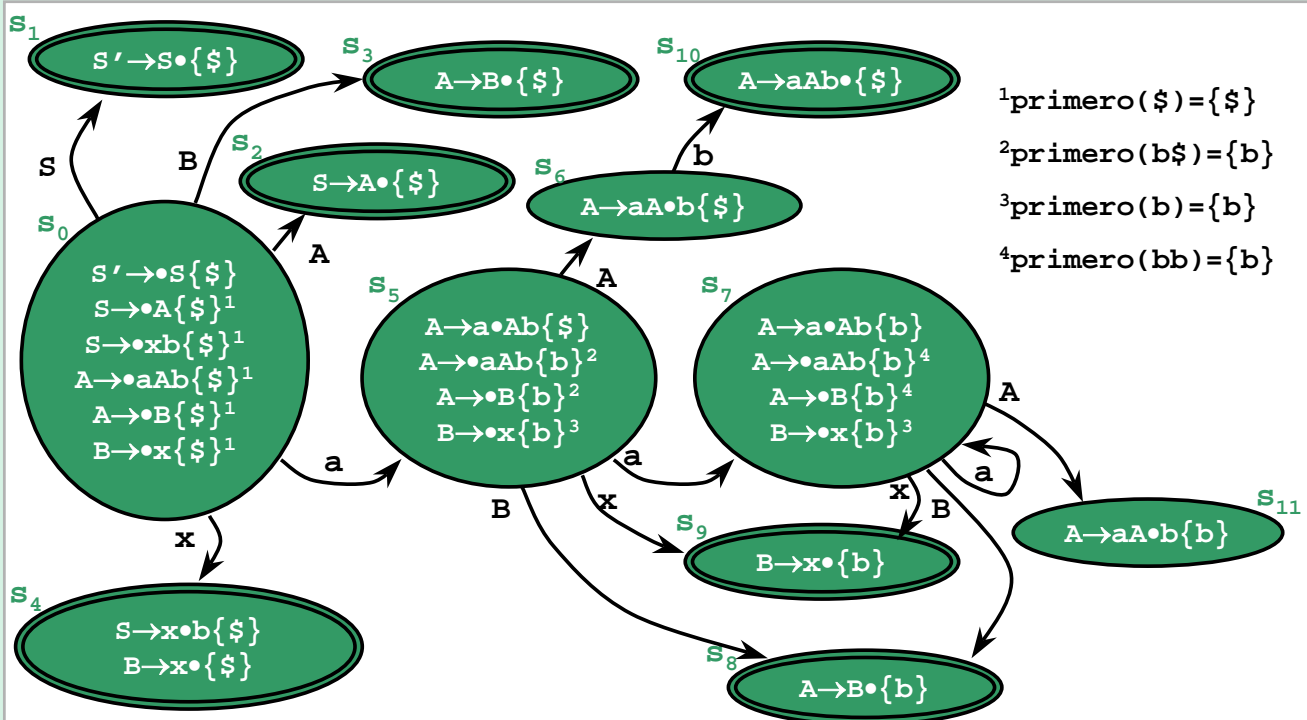


52

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

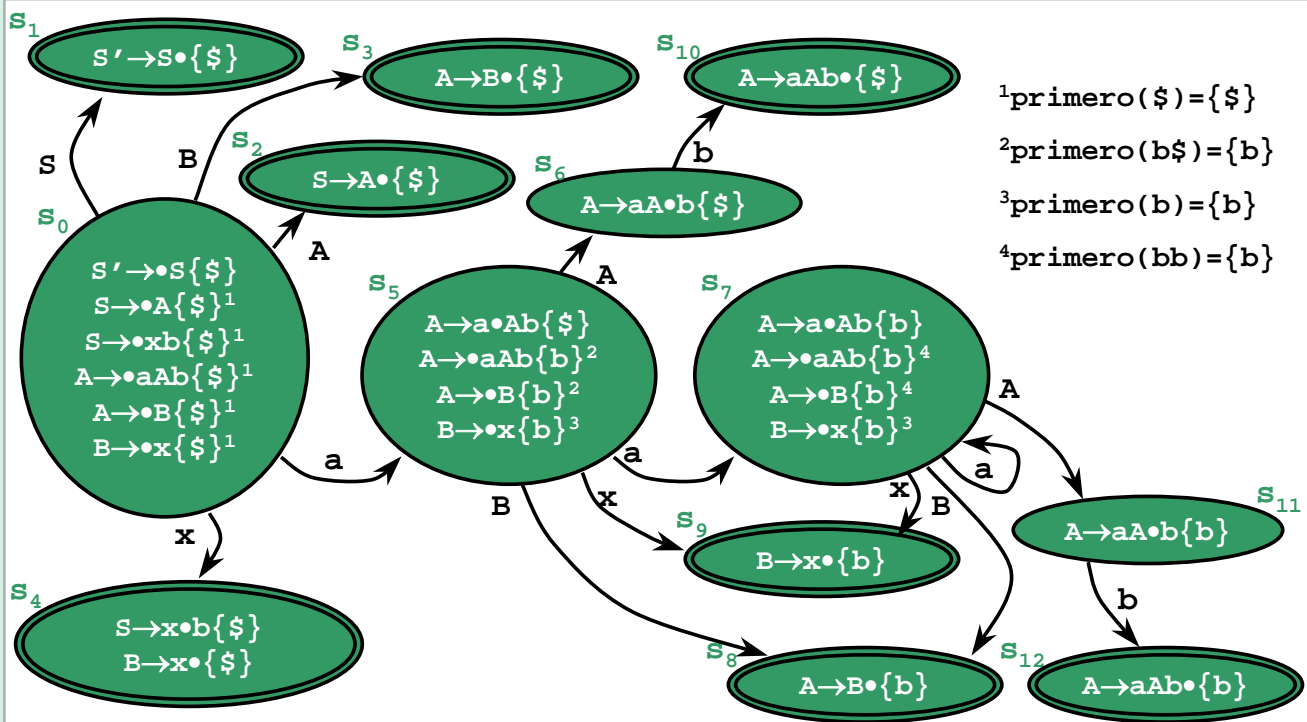


53

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:

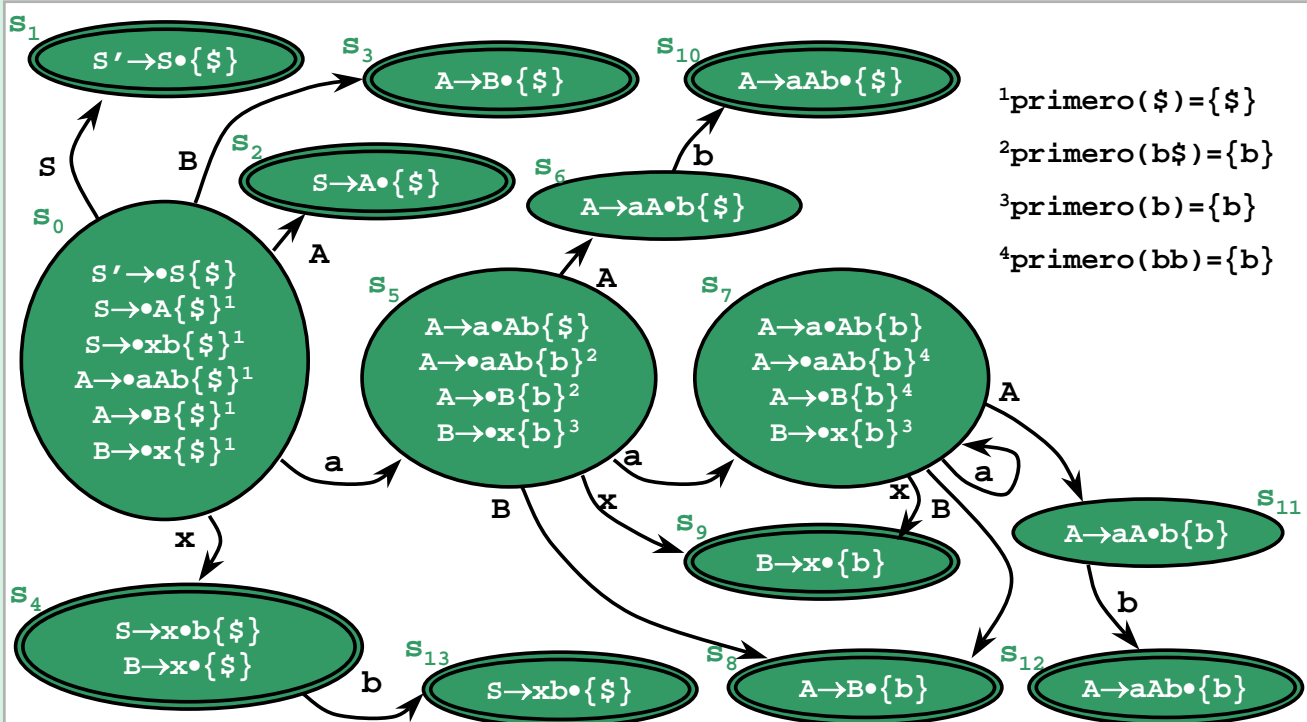


54

# Análisis LR(1)

## Construcción de tablas de análisis LR(1)

- Autómata finito determinista de transiciones:



55



## Análisis LR(1)

### Construcción de tablas de análisis LR(1): método

- Se diferenciará entre la parte de la tabla que indica **desplazamientos** y la que indica **reducciones**:
  - **Desplazamientos de la tabla:**
    - **Es igual que LR(0)**
    - Se obtienen “leyendo las transiciones del autómata”.
    - Es decir, si en el autómata se transita del estado  $s_i$  al  $s_j$  mediante el símbolo (terminal o no)  $x$ , entonces se añade a la casilla la acción
  - $$\text{Tabla\_sintáctica}[i, X] = \begin{cases} dj & \text{si } x \in \Sigma_T \\ j & \text{si } x \in \Sigma_N \end{cases}$$
  - **Reducciones de la tabla:**
    - En las casillas a cada uno de los estados con configuraciones de reducción (por tanto contendrá una configuración del tipo  $A \rightarrow \gamma \bullet \{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$ ) hay que añadir la reducción de la regla  $A \rightarrow \gamma$  **sólo en las columnas** correspondientes a los terminales **del conjunto de símbolos de adelante, es decir,  $\{\sigma_1, \dots, \sigma_n\}$** .
    - Por lo tanto este paso es **diferente al de LR(0) y al de SLR(1)**

Autómatas y Lenguajes (A.O.P.)

56

## Análisis LR(1)

### Construcción de tablas de análisis LR(1): método

- **Aceptación:**
  - El estado final de la configuración  $\text{axioma}' \rightarrow \text{axioma} \bullet \{\$ \}$  (supongamos que es  $s_i$ ) hace que se tenga que añadir a  $\text{Tabla\_sintáctica}[i, \$]$  la acción **aceptar**.
  - Este cambio está originado por la diferencia en el tratamiento de la gramática extendida.
  - Por lo tanto este paso es **diferente al de LR(0)**
- **Error:**
  - **Es igual que LR(0)**
  - Todas las demás casillas tienen asociada la acción de **error**
  - Lo más frecuente es dejar esas casillas en blanco de forma que es lo mismo encontrar una casilla en blanco que ejecutar la acción **error**

Autómatas y Lenguajes (A.O.P.)

57

7c.4

## Uso de la tabla (igual que SLR(1))

### Análisis LR(1)

#### Construcción de tablas de análisis LR(1)

- **Tabla de análisis**
  - A continuación se utilizará con las dos cadenas pedidas

	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
E	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Au	Acción				lr_a		

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

0

(0)  $S' \rightarrow S$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

y Lenguajes (A.O.P.)

60

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

y Lenguajes (A.O.P.)

61

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

7 a 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

Lenguajes (A.O.P.)

62

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

9 x 7 a 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

Lenguajes (A.O.P.)

63

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

8 B 7 a 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

lenguajes (A.O.P.)

64

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

11 A 7 a 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

lenguajes (A.O.P.)

65

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nb^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

12 b 11 A 7 a 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

enguajes (A.O.P.)

66

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nb^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

6 A 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

Lenguajes (A.O.P.)

67

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				2			
Acción					lr_a		

Lenguajes (A.O.P.)

$$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$$

a a x b b \$

10 b 6 A 5 a 0

$$(0) S' \rightarrow S\$$$

$$(1) S \rightarrow A$$

$$(2) S \rightarrow xb$$

$$(3) A \rightarrow aAb$$

$$(4) A \rightarrow B$$

$$(5) B \rightarrow x$$

68

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

Lenguajes (A.O.P.)

$$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$$

a a x b b \$

2 A 0

$$(0) S' \rightarrow S\$$$

$$(1) S \rightarrow A$$

$$(2) S \rightarrow xb$$

$$(3) A \rightarrow aAb$$

$$(4) A \rightarrow B$$

$$(5) B \rightarrow x$$

69

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

1 S 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

enguajes (A.O.P.)

70

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a a x b b \$

1 S 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

enguajes (A.O.P.)

71



## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a x \$

0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

enguajes (A.O.P.)

72

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a x \$

5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

enguajes (A.O.P.)

73

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a x \$

9 x 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

enguajes (A.O.P.)

74

## Análisis LR(1): ejercicio

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	a	b	x	\$	S	A	B
0	d5		d4		1	2	3
1				acc			
2				r1			
3				r4			
4		d13		r5			
5	d7		d9			6	8
6		d10					
7	d7		d9			11	8
8		r4					
9		r5					
10				r3			
11		d12					
12		r3					
13				r2			
Acción					lr_a		

$\{xb, a^nx b^n \mid n \geq 0\}$

a x \$

9 x 5 a 0

(0)  $S' \rightarrow S\$$

(1)  $S \rightarrow A$

(2)  $S \rightarrow xb$

(3)  $A \rightarrow aAb$

(4)  $A \rightarrow B$

(5)  $B \rightarrow x$

enguajes (A.O.P.)

75

## 7c.5

# Observaciones finales

Conjuntos con más de un símbolo de adelanto.

Repaso

## Análisis LR(1)

### Ejemplo

- Considérese la siguiente gramática y realícese todo el tratamiento visto anteriormente: LR(0), SLR(1) y LR(1)

$R_1 : S \rightarrow L = R$

$R_2 : S \rightarrow R$

$R_3 : L \rightarrow *R$

$R_4 : L \rightarrow id$

$R_5 : R \rightarrow L$

- La gramática aumentada es

$R_0 : S' \rightarrow S$

$R_1 : S \rightarrow L = R$

$R_2 : S \rightarrow R$

$R_3 : L \rightarrow *R$

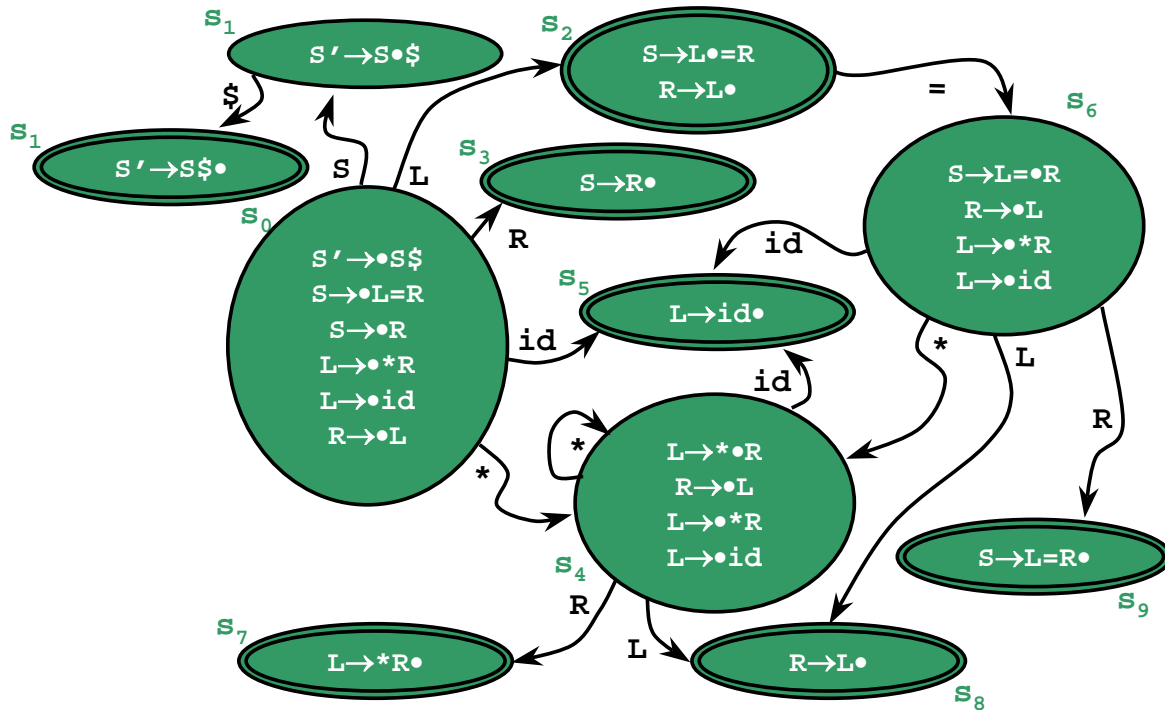
$R_4 : L \rightarrow id$

$R_5 : R \rightarrow L$

# Análisis LR(1)

## Ejemplo

- Autómata finito determinista de transiciones LR(0):



# Análisis LR(1)

## Ejemplo

- Y la tabla de análisis LR(0) que muestra el conflicto (resaltado en color rojo)

$R_0: S' \rightarrow S \$$

$R_1: S \rightarrow L = R$

$R_2: S \rightarrow R$

$R_3: L \rightarrow * R$

$R_4: L \rightarrow id$

$R_5: R \rightarrow L$

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	=	*	id	\$	S	L	R
0		d4	d5		1	2	3
1				acc			
2	r5/d6	r5	r5	r5			
3	r2	r2	r2	r2			
4		d4	d5			8	7
5	r4	r4	r4	r4			
6		d4	d5			8	9
7	r3	r3	r3	r3			
8	r5	r5	r5	r5			
9	r1	r1	r1	r1			
Acción					lr_a		

## Análisis LR(1)

### Ejemplo

- Y la tabla de análisis SLR(1) que muestra el conflicto (resaltado en color rojo)

$R_0: S' \rightarrow S\$$

$R_1: S \rightarrow L=R$

$R_2: S \rightarrow R$

$R_3: L \rightarrow *R$

$R_4: L \rightarrow id$

$R_5: R \rightarrow L$

$\text{primero}(L) = \{i, *\}$

$\text{primero}(R) = \{i, *\}$

$\text{primero}(S) = \{i, *\}$

$\text{siguiente}(L) = \{\$, =\}$

$\text{siguiente}(R) = \{\$, =\}$

$\text{siguiente}(S) = \{\$\}$

E	$\Sigma_T$				$\Sigma_N$		
	=	*	id	\$	S	L	R
0		d4	d5		1	2	3
1				acc			
2	r5/d6			r5			
3				r2			
4		d4	d5			8	7
5	r4			r4			
6		d4	d5			8	9
7	r3			r3			
8	r5			r5			
9				r1			
Acción					lr_a		

Autómatas y Lenguajes (A.O.P.)

80

## Análisis LR(1)

### Ejemplo

- Autómata finito determinista de transiciones LR(1):

$S' \rightarrow \bullet S \{ \$ \} \quad (1)$

(1.a)  $S \rightarrow \bullet L=R \{ \$ \} \quad (2)$

(1.b)  $S \rightarrow \bullet R \{ \$ \} \quad (3)$

(2.a)  $L \rightarrow \bullet *R \{ = \}$

(2.b)  $L \rightarrow \bullet id \{ = \}$

(3)  $R \rightarrow \bullet L \{ \$ \} \quad (4)$

(4.a)  $L \rightarrow \bullet *R \{ \$ \}$

(4.b)  $L \rightarrow \bullet id \{ \$ \}$

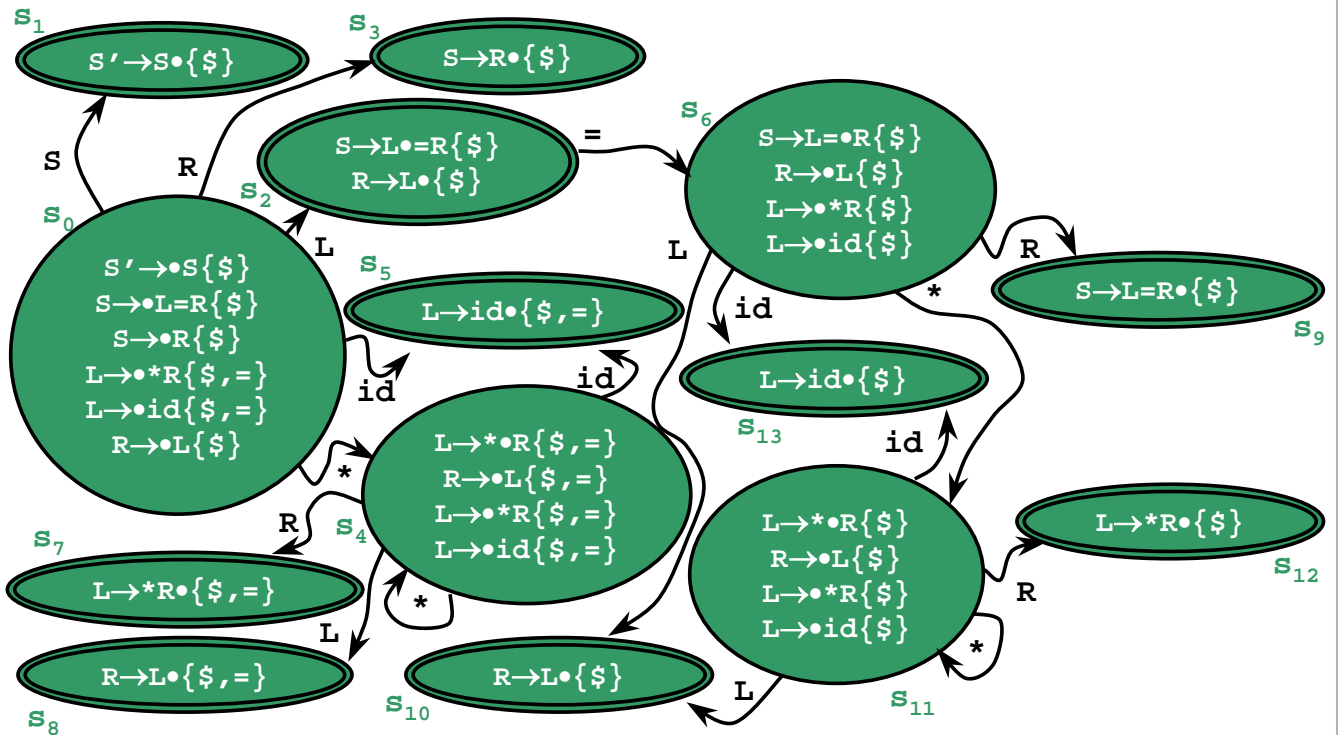
Agrupando  
configuraciones  
sólo diferentes en  
los símbolos de  
adelanto

$S' \rightarrow \bullet S \{ \$ \}$   
 $S \rightarrow \bullet L=R \{ \$ \}$   
 $S \rightarrow \bullet R \{ \$ \}$   
 $L \rightarrow \bullet *R \{ \$, = \}$   
 $L \rightarrow \bullet id \{ \$, = \}$   
 $R \rightarrow \bullet L \{ \$ \}$

# Análisis LR(1)

## Ejemplo

- Autómata finito determinista de transiciones LR(1):



# Análisis LR(1)

## Ejemplo

### Tabla de análisis

- A continuación se utilizará con las dos cadenas pedidas

	$\Sigma_T$						
E	=	*	id	\$	S	L	R
0		d4	d5		1	2	3
1				acc			
2	d6			r5			
3				r2			
4		d4	d5			8	7
5	r4			r4			
6		d11	d13			10	9
7	r3			r3			
8	r5			r5			
9				r1			
10				r5			
11		d11	d13			10	12
12				r3			
13				r4			
Au	Acción						

## Análisis LR(1)

### Conclusiones al ejemplo

- El ejemplo anterior tiene interés porque muestra un caso en el que los conjuntos de adelanto tienen más de un símbolo.

## Análisis LR(1)

### Evaluación de la técnica

- Potencia:
  - Se puede demostrar que LR(1) es el más potente algoritmo de análisis entre los que realizan el recorrido de la cadena de entrada de izquierda a derecha y se ayudan con 1 símbolo *de adelanto*.
  - La demostración queda fuera del temario de la asignatura.
- Eficiencia:
  - Como se ha podido observar al comparar los diagramas de estados para el ejemplo que se ha tratado con LR(0) y LR(1), en éste último es, a veces necesario la multiplicación de estados con el consiguiente aumento de tamaño del autómata y de las tablas de análisis.

### Posibilidad de ampliar la técnica a $k, k > 1$

- Esta misma técnica puede ampliarse considerando un número cualquiera de símbolos *de adelanto*.
- Esta generalización queda fuera del temario de la asignatura.