

Procesadores de lenguaje

→ Tema 4 – Análisis semántico



Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez
Departamento de Ciencias de la Computación
Universidad de Alcalá

→ Resumen

- Introducción
- Gramáticas de atributos.
 - Gramáticas S-atribuidas.
 - Gramáticas L-atribuidas.
- Esquemas de traducción dirigidos por sintaxis.
- Grafo de dependencias.
- Evaluación de atributos.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Introducción

- El lenguaje es un vehículo por el cual se transmiten instrucciones a un procesador para que las ejecute y produzca ciertos resultados.
- Es tarea del compilador extraer el contenido semántico incluido en las sentencias del programa.
- Ciertos aspectos relativos a la **corrección** de un programa no se pueden expresar claramente mediante el lenguaje de programación.
- Es necesario dotar al compilador de **rutinas auxiliares** para captar todo lo que no se ha expresado mediante la sintaxis del lenguaje

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Introducción

- **Semántica:** conjunto de reglas que especifican el significado de cualquier sentencia sintácticamente correcta y escrita en un determinado lenguaje.
- El **análisis semántico**, a diferencia de otras fases, no se realiza claramente diferenciado del resto de las tareas del compilador.
 - Fase en la que se obtiene información necesaria para la compilación tras conocer la estructura sintáctica del programa.
 - Completa las fases de análisis léxico y sintáctico incorporando comprobaciones que no pueden asimilarse al mero reconocimiento de una cadena dentro de un lenguaje

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Introducción

- Errores semánticos de un programa:
 - Conversiones de tipos no permitidas

```
int x;  
x = 4.32;  
Error: Ej1.java [6:1] possible loss of precision
```

- Variables usadas y no definidas
- Operandos de tipos no compatibles

```
if (x || 5) x = 0;  
Error: Ej2.java [7:1] operator || cannot be applied to int,int
```

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Funciones del análisis semántico

- Las principales funciones son:
 - Identificar cada tipo de instrucción y sus componentes.
 - Completar la **Tabla de Símbolos**.
 - Realizar comprobaciones **estáticas**:
 - Se realizan durante la compilación del programa.
 - Ejemplos: comp. de tipos, unicidad de etiquetas e identificadores, etc.
 - Realizar comprobaciones **dinámicas**:
 - Aquellas que el compilador incorpora al programa traducido.
 - Hacen referencia a aspectos que sólo pueden ser conocidos en *tiempo de ejecución*
 - Dependientes del estado de la máquina en la ejecución o del propio programa.
 - Validar las declaraciones de identificadores: en muchos lenguajes no se puede usar una variable si no ha sido declarada con anterioridad.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Introducción

- El análisis semántico se divide en dos categorías:
 - **Análisis de la exactitud del programa** para garantizar una ejecución adecuada.
 - Algunos lenguajes (Lisp, Smalltalk) pueden no tener análisis estático.
 - Por ejemplo, ADA es un lenguaje con fuertes restricciones para que un programa sea ejecutable.
 - **Análisis para mejorar la eficiencia** (optimización del programa traducido)

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Especificación de la semántica

- No hay una notación estándar para especificar la semántica estática de un lenguaje
 - El análisis semántico varía mucho de unos lenguajes a otros
- Las especificaciones semánticas de un lenguaje pueden hacerse de manera informal o formal:
 - Especificación natural: basada en el lenguaje natural.
 - Por ejemplo:
 - “Los identificadores deben definirse antes de utilizarse”
 - “Los operandos deben ser compatibles entre sí”
 - Especificación formal: definición más precisa.
 - Lenguajes formales: Z, B, VDM, etc.
 - Gramáticas de atributos (Knuth, 1968)

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- Una **gramática de atributos** es una gramática libre de contexto cuyos símbolos pueden tener asociados atributos y las producciones pueden tener asociadas reglas de evaluación de los atributos.
- En la creación de compiladores se utilizan ecuaciones de atributos o reglas semánticas como método para expresar la relación entre el cálculo de los atributos y las reglas del lenguaje.
- Cada producción (regla sintáctica) tiene asociada una acción semántica que se aplica cuando se realiza una reducción en el análisis sintáctico ascendente.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- Traducción dirigida por la sintaxis:



Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- Dos notaciones para asociar reglas semánticas con producciones:

- **Definiciones dirigidas por la sintaxis (DDS)** :
 - Son especificaciones de alto nivel
 - El usuario no necesita especificar el orden de la traducción
- **Esquemas de traducción (EDT)** :
 - Indican el orden en que deben evaluarse las reglas semánticas
 - Incluyen detalles de implementación

- Con ambas notaciones se analizan los componentes léxicos, se construye el árbol sintáctico y finalmente se recorre el árbol para evaluar las reglas semánticas de sus nodos.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- **Atributo**: propiedad de una construcción de un lenguaje.
 - Pueden variar mucho en cuanto a información que contienen o tiempo que tardan en determinarse durante la traducción/ejecución.
 - Cada símbolo (terminal o no terminal) puede tener asociado un número finito de atributos.
- Ejemplos de atributos:
 - Tipo de una variable
 - Valor de una expresión
 - Ubicación en memoria de una variable
 - Código objeto de un procedimiento
 - Número de dígitos significativos en un número

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- **Fijación** de un atributo: proceso de calcular el valor de un atributo y asociarlo con una construcción del lenguaje.
- Tipos de Atributo por su fijación:
 - Estático: puede fijarse antes de la ejecución del programa
 - Ej.: número de dígitos significativos (puede tener un valor mínimo)
 - Dinámico: sólo puede fijarse durante la ejecución del programa
 - Ej.: valor de una expresión no constante
- Los valores de los atributos deben estar asociados con un dominio de valores.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- Generalmente se denotan mediante un nombre precedido por un punto y el nombre del símbolo al que están asociados.

`NombreSímbolo.NombreAtributo`

- Ejemplo:

`numero → numero digito | digito`

a) `numero → digito`

`numero.valor = digito.valor`

b) `numero → numero digito`

`numero1.valor = numero2.valor * 10 + digito.valor`

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- Otra notación hace referencia a su posición en la regla de producción:

- Se utiliza el símbolo '\$'.
- \$\$ representa el no terminal en la parte izquierda de la producción
- Los símbolos de la parte derecha de la producción se identifican consecutivamente: \$1, \$2, \$3, ..., \$n.

- Ejemplo:

`numero → numero digito | digito`

a) `numero → digito`

`$.valor = $1.valor`

b) `numero → numero digito`

`$.valor = $1.valor * 10 + $2.valor`

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas de atributos

- Ejemplo:

```
Exp → Exp op_arit Exp {  
    si ($1.tipo == $3.tipo) entonces  
        $$.tipo = $1.tipo  
    si no  
        $$.tipo = ERROR  
        Escribir("error tipos incompatibles")  
    fin_si  
}
```



→ Gramáticas de atributos

```
<Expresion> ::= <Expresion> <Operador> <Expresion> {  
    <Operador>.Tipo = Mayor_tipo(<expresion_1>.Tipo,<expresion_2>.Tipo)  
    <Expresion_1>.Tipo = <Operador>.Tipo  
    if (<Operador>.Tipo == 'F' && <Expresion_2>.Tipo == 'I'){  
        <Expresion_1>.Tipo = 'F';  
        <Expresion_1>.Valor = Float(<Expresion_2>.Valor);  
    }  
    if (<Operador>.Tipo == 'F' && <Expresion_2>.Tipo == 'I'){  
        <Expresion_1>.Tipo = 'F';  
        <Expresion_1>.Valor = Float(<Expresion_2>.Valor);  
    }  
    switch (<Operador>.Tipo){  
        'I': <Expresion_1>.Valor = Op_entera(<operador>.Clase,  
            <Expresion_1>.Valor, <Expresion_2>.Valor); break;  
        'F': <Expresion_1>.Valor = Op_real(<operador>.Clase,  
            <Expresion_1>.Valor, <Expresion_2>.Valor); break;  
    }  
}
```



→ Gramáticas de atributos

- Las gramáticas de atributos se escriben en forma de tabla:

- Las reglas gramaticales, a la izquierda
- Las reglas semánticas asociadas, a la derecha

Regla gramatical	Regla semántica
Regla 1	Ecuaciones de atributo asociadas
...	...
Regla n	Ecuaciones de atributo asociadas



→ Gramáticas de atributos

• Ejemplo

Regla gramatical	Regla semántica
$L \rightarrow E n$	<code>print(E.val)</code>
$E \rightarrow E + T$	$E_0.val = E_1.val + T.val$
$E \rightarrow T$	$E.val = T.val$
$T \rightarrow T * F$	$T_0.val = T_1.val * F.val$
$T \rightarrow F$	$T.val = F.val$
$F \rightarrow (E)$	$F.val = E.val$
$F \rightarrow \text{digito}$	$F.val = \text{digito.valor_lexico}$

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Definiciones dirigidas por la sintaxis

- Cada símbolo gramatical tiene asociado un conjunto de atributos.
- El valor de un atributo en un árbol sintáctico se calcula mediante una regla semántica asociada a la producción utilizada en el nodo.
- Tipos de atributos:

– **Sintetizados**: Su valor se calcula en función de atributos de nodos hijos en el árbol de análisis sintáctico.

$A \rightarrow aB \{ A.atributo = a.atributo + B.atributo \}$

– **Heredados**: Para un hijo se calculan a través de los atributos del padre y hermanos en el árbol de análisis sintáctico.

$A \rightarrow aB \{ B.atributo = a.atributo - A.atributo \}$

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Definiciones dirigidas por la sintaxis

- Las reglas semánticas establecen las dependencias entre los atributos
 - Estas dependencias se representan en un grafo.
- Del **grafo de dependencias** se obtiene el orden de evaluación de las reglas semánticas.
- **Árbol sintáctico con anotaciones**: árbol sintáctico que muestra información en cada nodo sobre los atributos.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Definiciones dirigidas por la sintaxis

- Forma de una *definición dirigida por la sintaxis*:
 - Cada producción $A \rightarrow \alpha$ tiene una o más reglas semánticas asociadas
 - Cada regla tiene la forma $b = f(c_1, c_2, \dots, c_n)$
 - b , que depende de c_1, c_2, \dots, c_n , puede ser:
 - Un atributo sintetizado de A .
 - Un atributo heredado de uno de los símbolos del lado derecho de la producción.
 - Las funciones f de las reglas se escriben como expresiones.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Definiciones S-atribuidas

- Gramática **S-atribuida**: todos los atributos asociados con los símbolos gramaticales son **sintetizados**.
- Las reglas de evaluación de los atributos sintetizados se realizan cuando se aplican reducciones en el análisis sintáctico.
- Las reglas de evaluación de los atributos deben definirse en función de los atributos asociados con los símbolos gramaticales “hijos”.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Evaluación de atributos sintetizados

- Los valores de los atributos S se pueden calcular fácilmente mediante un recorrido ascendente (post-orden) del árbol sintáctico:

```
procedimiento EvaluarSintetizado(A:arbolSintactico){  
  Para cada hijo H de A hacer  
    EvaluarSintetizado(H);  
  Calcular atributos sintetizados de A  
}
```

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas S-atribuidas

• Ejemplo de gramática S-Atribuida:

– **Calculadora aritmética sencilla.** Se desea evaluar expresiones a la vez que las analizamos. Sea el conjunto de producciones y acciones siguientes:

```

L → E n { print (E1.val) } (* n = salto línea *)
E → E + T { E0.val = E1.val + T3.val }
E → T { E0.val = T1.val }
T → T * F { T0.val = T1.val * F3.val }
T → F { T0.val = F1.val }
F → (E) { F0.val = E2.val }
F → digito { F0.val = digito }
    
```

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



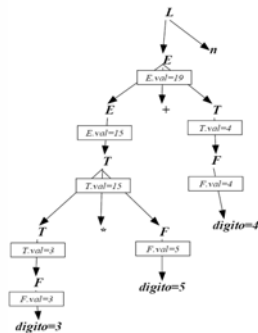
→ Gramáticas S-atribuidas

• Evaluación de la expresión "3 * 5 + 4"

• Resultado: se imprime el resultado de calcular 3 * 5 + 4.

```

L → E n
E → E + T | T
T → T * F | F
F → (E) | digito
    
```



Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas L-atribuidas

• Gramática **L-atribuida**: todos los atributos asociados con los símbolos gramaticales son **sintetizados** o **heredados** pero cumpliendo que su evaluación dependa de los atributos asociados con los símbolos precedentes en la derivación:

- Heredan del nodo "padre"
 - Ej: $A \rightarrow XYZ$ { $Y.valor = A.valor$ }
- Heredan de hermanos a su "izquierda"
 - Ej: $A \rightarrow XYZ$ { $Y.valor = X.valor$ }
- Heredan de otros atributos del mismo símbolo
 - Ej: $A \rightarrow XYZ$ { $Y.valor = float(Y.int_value) * 2$ }

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas L-atribuidas

- Los atributos **heredados** permiten expresar la dependencia de una construcción del lenguaje con respecto al contexto en que aparece.
- Ejemplos:
 - Saber si un identificador está en la parte izquierda (dirección) o derecha (valor) de una expresión.
 - Conocer la posición de un argumento de función $f(x,y,z)$ "¿Qué posición ocupa dentro de la lista de argumentos el argumento y ?"
- Para su evaluación el análisis óptimo es el descendente.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Evaluación de atributos heredados

- Los valores de los atributos heredados se pueden calcular mediante un recorrido descendente (pre-orden) del árbol sintáctico:

```
procedimiento EvaluarHeredado(A:arbolSintactico){  
  Para cada hijo H de A hacer{  
    Calcular atributos heredados de H  
    EvaluarHeredado(H);  
  }  
}
```

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Evaluación de atributos heredados

- Ejemplo:

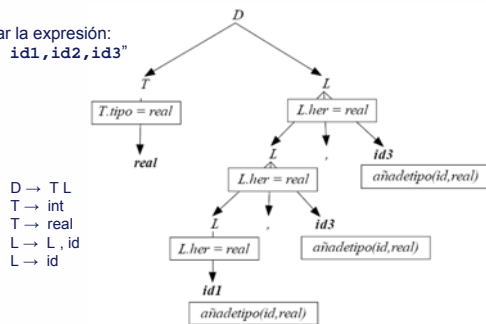
```
D → T L { L.her = T.tipo; }  
T → int { T.tipo = entero; }  
T → real { T.tipo = real; }  
L → L , id { L1.her = L0.her; añadetipo(id, L0.her); }  
L → id { añadetipo(id, L.her); }
```

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Gramáticas L-atribuidas

- Evaluar la expresión:
"real id1,id2,id3"



Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez

→ Esquemas de traducción

- **Esquema de Traducción:** gramática con atributos cuyas acciones semánticas se expresan entre llaves.
- Notación complementaria donde las acciones se encuentran o bien intercaladas entre los símbolos de la parte derecha de las producciones, o bien al final de las mismas.

– Inserción de acciones semánticas al final de cada producción.

```
S ::= B1 B2 { B1.atr = 1; B2.atr = 2; }
B ::= x { print(B.ATR); }
```

– Acciones semánticas intercaladas

```
Proced ::= procedure {CrearAmbito();} id Args Decl Sentencias;
```

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez

→ Grafo de dependencias

- **Grafo de Dependencias:** para calcular el valor de un atributo es necesario calcular en primer lugar los valores de los atributos de los que depende, estableciendo una dependencia entre atributos.

- Cuando aparecen definidos atributos sintetizados y heredados, es necesario establecer un **orden de evaluación**.

- Orden de evaluación:

– Para cualquier acción semántica de la forma:

$$X.\text{atr} = f(Y_1.\text{atr}, \dots, Y_n.\text{atr})$$

– Los valores de los atributos $Y_1.\text{atr}, \dots, Y_n.\text{atr}$ deben estar disponibles antes de ejecutarla.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez

→ Grafo de dependencias

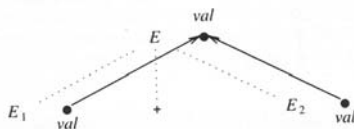
- El **grafo de dependencias** es un grafo dirigido acíclico:
 - Un nodo para cada atributo
 - Un arco $b \rightarrow c$ si el atributo c depende del atributo b
- Se construye con el siguiente **algoritmo**:
 - Nodos: Para cada nodo n del árbol sintáctico, hacer:
 - Para cada atributo a asociado al símbolo gramatical del nodo n , construir un nodo etiquetado con a en el grafo de dependencias.
 - Arcos: Para cada nodo n del árbol sintáctico, hacer:
 - Para cada regla semántica $b = f(c_1, c_2, \dots, c_n)$ asociada con la producción del nodo n , trazar arcos desde cada c_i hasta b .
 - Los atributos sintetizados se representan marcando el nodo así: •
 - El árbol sintáctico se representa en paralelo mediante líneas punteadas.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Grafo de dependencias

$E \rightarrow E + E \quad \{ E_0.val = E_1.val + E_2.val \}$



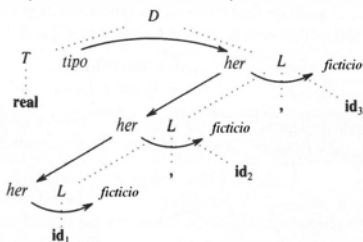
Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Grafo de dependencias

$D \rightarrow T L \{ L2.her = T1.tipo; \}$
 $T \rightarrow int \{ T0.tipo = entero; \}$
 $T \rightarrow real \{ T0.tipo = real; \}$
 $L \rightarrow L, id \{ L1.her = L0.her; añadetipo(id, L0.her); \}$
 $L \rightarrow id \{ añadetipo(id, L0.her); \}$

Entrada:
real id1, id2, id3;

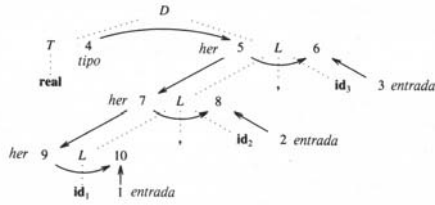


Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Orden de evaluación

- **Clasificación topológica:** orden de evaluación de las reglas semánticas asociadas a cada nodo del árbol de análisis sintáctico.
 - Se etiqueta cada nodo con un número
 - Los atributos independientes se evalúan antes que los dependientes
 - El grafo de dependencias debe ser acíclico

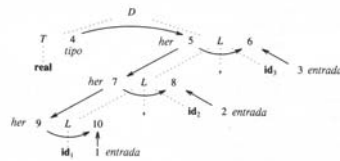


Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Orden de evaluación

- Una clasificación topológica se utiliza para generar un programa con el conjunto de reglas de evaluación ordenadas:



```
a4 = real;  
a5 = a4;  
añadetipo (id3.entrada, a5);  
a7 = a5;  
añadetipo (id2.entrada, a7);  
a9 = a7;  
añadetipo (id1.entrada, a9);
```

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Orden de evaluación

- Al método anterior se le conoce como **Método de árbol de análisis gramatical**.
- **Inconvenientes:**
 - La complejidad añadida que la construcción del grafo de dependencias supone para la compilación (se realiza en tiempo de compilación).
 - El método debe determinar si el grafo es acíclico (en tiempo de construcción).
- **Alternativa: Método basado en reglas.**
 - El escritor del compilador analiza la gramática y fija un orden de evaluación de atributos (en tiempo de construcción del compilador).
 - Basado en reglas: analiza las reglas semánticas y depende de ellas.
 - Sólo puede hacerse para gramáticas "completamente no circulares".
 - Prácticamente todos los compiladores lo utilizan.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Evaluación ascendente

- Los principales métodos de análisis sintáctico procesan la entrada de izquierda a derecha, lo que implica que los atributos no pueden tener dependencias "hacia atrás".
 - Este problema se plantea sólo para atributos heredados.
- Los analizadores ascendentes (LR) son más adecuados para manejar atributos sintetizados.
 - Reducen cuando se conoce toda la parte derecha de una producción.
- Es posible implementar traductores ascendentes para atributos heredados utilizando técnicas avanzadas.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Evaluación ascendente

- La estructura de la pila se adecua para que cada símbolo de la gramática disponga de sus atributos asociados.
- La evaluación de los atributos se realiza justo antes de cada reducción.
- El analizador LR contiene una **pila de valores** adicional para almacenar los valores de los atributos sintetizados.
 - Si hay más de un atributo para un símbolo, se almacenan como estructuras.
- El *Analizador* es similar, pero ahora utiliza producciones compuestas por símbolos más acciones semánticas:
 - Al aplicar una reducción se realizan los cálculos indicados en las acciones semánticas, utilizando generalmente los elementos de la pila de valores.
 - Un desplazamiento consiste en la inserción de valores de *token* tanto en la pila de valores como en la pila de análisis sintáctico.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Evaluación de atributos

- Si una producción maneja un único atributo "val", la pila contiene tanto los estados como los valores del atributo para los símbolos que ya han sido procesados (desplazados o reducidos anteriormente).
- Si un símbolo no tiene atributo "val" la entrada correspondiente en la tabla está sin definir.
- Acciones sobre la pila de valores:
 - Obtener un valor: `Pila.pop(valor)`
 - Descartar un valor: `Pila.pop()`
 - Insertar un valor: `Pila.push(valor)`

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez



→ Evaluación de atributos

• Ejemplo:

	Pila de análisis sintáctico	Entrada	Acción de análisis sintáctico	Pila de valores	Acción semántica
1	\$	3*4+5 \$	desplazamiento	\$	
2	\$ n	*4+5 \$	reducción de $E \rightarrow n$	\$ n	$E.val = n.val$
3	\$ E	*4+5 \$	desplazamiento	\$ 3	
4	\$ E *	4+5 \$	desplazamiento	\$ 3 *	
5	\$ E * n	+5 \$	reducción de $E \rightarrow n$	\$ 3 * n	$E.val = n.val$
6	\$ E * E	+5 \$	reducción de $E \rightarrow E * E$	\$ 3 * 4	$E_1.val = E_2.val * E_3.val$
7	\$ E	+5 \$	desplazamiento	\$ 12	
8	\$ E +	5 \$	desplazamiento	\$ 12 +	
9	\$ E + n	\$	reducción de $E \rightarrow n$	\$ 12 + n	$E.val = n.val$
10	\$ E + E	\$	reducción de $E \rightarrow E + E$	\$ 12 + 5	$E_1.val = E_2.val + E_3.val$
11	\$ E	\$		\$ 17	

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez

→ Evaluación de atributos

- Es posible calcular con este método (LR) atributos heredados de hermanos previamente calculados.

Regla gramatical	Regla semántica
$A \rightarrow BC$	{ $C.her = 2 * B.atr$ }
$B \rightarrow \dots$	{ Calcular $B.atr$; }
$C \rightarrow \dots$	{/* utilizar $C.her$ */}

- Es necesario introducir una producción ϵ adicional.

- El valor del atributo se almacena en una variable auxiliar y se calcula en función del valor en la cima de la pila **antes** del reconocimiento de C.

Regla gramatical	Regla semántica
$A \rightarrow BXC$	{ $C.her = 2 * aux$ }
$B \rightarrow \dots$	{ Calcular $B.atr$; }
$X \rightarrow C$	{ $aux = Pila.Cima()$ }
$C \rightarrow \dots$	{/* $C.her$ disponible */}

- En Yacc/CUP:

$A : B \{ aux = 2 * B.atr \} C$

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez

→ Evaluación de atributos

- El cálculo de los atributos depende de la estructura de la gramática.
- Es posible simplificar el cálculo mediante una modificación de las reglas gramaticales.
- Teorema de Knuth:** Dada una gramática con atributos, todos los atributos heredados se pueden convertir en sintetizados modificando adecuadamente la gramática, sin cambiar el lenguaje.
 - En la práctica no se utiliza demasiado, pues puede generar gramáticas y reglas semánticas más complejas que las originales.

Procesadores de lenguaje – Tema 4: Análisis semántico
Salvador Sánchez, Daniel Rodríguez

→ Bibliografía

- **Básica:**

- *Compiladores: principios, técnicas y herramientas*. A.V. Aho, R. Sethi, J.D. Ullman. Addison-Wesley Iberoamerica. 1990.
- *Construcción de compiladores. Principios y práctica*. Kenneth C. Louden. Thomson-Paraninfo. 2004.