

- ✖ Notación
- ✖ Objetivo del análisis semántico
- ✖ Pasos para la construcción de un analizador semántico
- ✖ Análisis semántico con Bison
- ✖ Definición de los atributos semánticos
- ✖ Declaración y uso de identificadores
 - ✖ Descripción general
 - ✖ Gestión de ámbitos
 - ✖ Inserción en la tabla de símbolos
- ✖ Declaración de variables globales y locales
 - ✖ Introducción
 - ✖ Propagación de las características de la declaración a las variables de la lista
 - ✖ Acciones semánticas de las producciones 5 y 7
 - ✖ Acciones semánticas de las producciones 10 y 11
 - ✖ Acción semánticas de la producción 15
 - ✖ Ejemplo
 - ✖ Acción semántica adecuada al ámbito de la variable

- ✖ Declaración de parámetros de función
- ✖ Declaración de funciones
- ✖ Uso de identificadores
- ✖ Comprobaciones semánticas en las expresiones aritméticas
 - ✖ Comprobación de tipo
 - ✖ Implementación
- ✖ Comprobaciones semánticas en las expresiones lógicas
 - ✖ Comprobación de tipos
 - ✖ Implementación
- ✖ Comprobaciones semánticas en las expresiones de comparación
 - ✖ Comprobación de tipos
 - ✖ Implementación
- ✖ Comprobaciones semánticas para las constantes
 - ✖ Introducción
 - ✖ Implementación
- ✖ Comprobaciones semánticas para otras expresiones
 - ✖ Introducción
 - ✖ Implementación

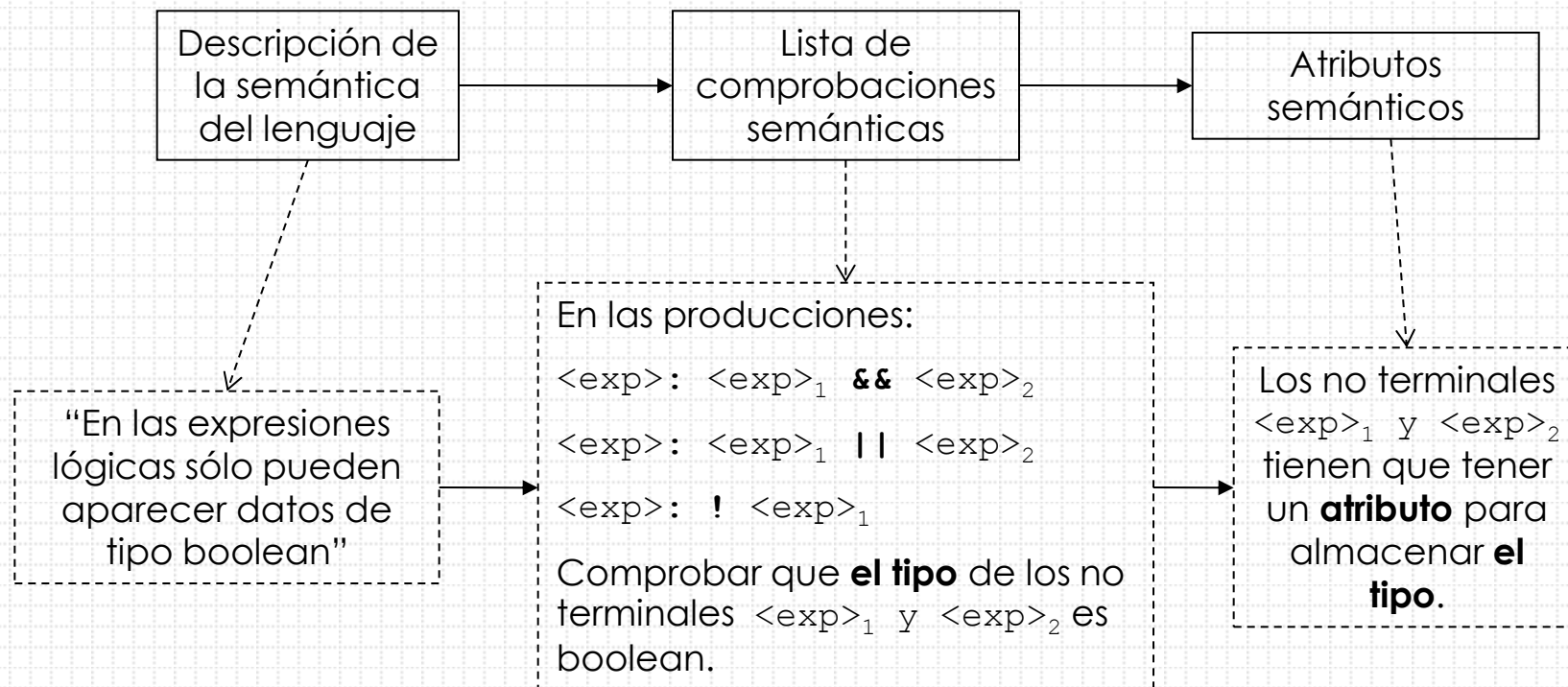
- ✖ Comprobaciones semánticas en sentencias de asignación
 - ✖ Comprobación de tipos
 - ✖ Implementación
- ✖ Comprobaciones semánticas para vectores
 - ✖ Comprobación del tamaño
 - ✖ Comprobaciones en el indexado de vectores
- ✖ Comprobaciones semánticas para otras expresiones
 - ✖ Introducción
 - ✖ Implementación
- ✖ Comprobaciones semánticas en sentencias de asignación
 - ✖ Comprobación de tipos
 - ✖ Implementación
- ✖ Comprobaciones semánticas para vectores
 - ✖ Comprobación del tamaño
 - ✖ Comprobaciones en el indexado de vectores
- ✖ Comprobaciones semánticas para las condiciones
- ✖ Comprobaciones para sentencias de entrada
- ✖ Comprobaciones para sentencias de salida
- ✖ Otras comprobaciones semánticas

- ✖ En este documento, la representación de las producciones de la gramática del lenguaje de programación ALFA se ajusta a la notación propia de Bison con las siguientes particularidades:
 - ✖ Los símbolos no terminales se representan en minúsculas
 - ✖ Los símbolos terminales se representan con TOK_ ...
 - ✖ Los símbolos terminales de un carácter se representan encerrados entre comillas simples

- ✖ La semántica del lenguaje forma parte de la especificación del mismo. Normalmente **la semántica de un lenguaje se describe de manera informal.**
- ✖ El objetivo del análisis semántico es **comprobar si la semántica del programa que se está compilando cumple las especificaciones de la semántica del lenguaje fuente.**
Algunas de estas comprobaciones son:
 - ✖ comprobación de tipos en sentencias de asignación
 - ✖ comprobación de tipos en operaciones aritmético-lógicas
 - ✖ comprobación de tipos en las sentencias condicionales
 - ✖ comprobación de la declaración de las variables antes de su uso
 - ✖ comprobación del número de parámetros en la llamada a una función
- ✖ Es imprescindible conocer las restricciones semánticas del lenguaje antes de iniciar su desarrollo (leer el enunciado con detenimiento)

Pasos para la construcción de un analizador semántico

- ✖ Para realizar el análisis semántico se utilizan **gramáticas de atributos**. (Gramática independiente del contexto + sistema de atributos)
- ✖ Hay que **definir los atributos** (los necesarios para realizar las comprobaciones semánticas y también la generación de código)



- ✖ Además de definir los atributos hay que definir el modo en que se **calculan los valores de los atributos**.
- ✖ Por ejemplo, el atributo tipo del no terminal $\langle \text{exp} \rangle$ se calcula/evalúa en muchas producciones. Algunas de ellas son:
 - ✖ En la producción $\langle \text{exp} \rangle : \langle \text{exp} \rangle_1 \ \&\& \ \langle \text{exp} \rangle_2$ al atributo **tipo** del no terminal $\langle \text{exp} \rangle$ se le asigna el valor boolean.
 - ✖ En la producción $\langle \text{exp} \rangle : \langle \text{exp} \rangle_1 \ || \ \langle \text{exp} \rangle_2$ al atributo **tipo** del no terminal $\langle \text{exp} \rangle$ se le asigna el valor boolean.
 - ✖ En la producción $\langle \text{exp} \rangle : ! \ \langle \text{exp} \rangle_1$ al atributo **tipo** del no terminal $\langle \text{exp} \rangle$ se le asigna el valor boolean.

- ✖ Los pasos para la construcción del analizador semántico con Bison son:
 - ✖ De la especificación del lenguaje se deduce la lista de comprobaciones semánticas.
 - ✖ Los **atributos necesarios** se deducen a partir de las comprobaciones semánticas. El tipo de los atributos se define mediante la directiva **%union** dentro del fichero de especificación de Bison.
 - ✖ Los atributos son **synthesized**.
Esta restricción viene impuesta porque el tipo de analizador sintáctico que genera Bison es ascendente LALR(1).
Si la gramática de atributos que se diseña para implementar el análisis semántico requiere atributos heredados, hay que definir un mecanismo para incorporar el cálculo de dichos atributos en el analizador ascendente generado por Bison.
 - ✖ El **cálculo de los atributos** se realiza en las acciones asociadas a las reglas.
 - ✖ El **acceso a los atributos** se realiza a través de las pseudovariables \$\$, \$1, \$2, ...
- ✖ En resumen, el analizador semántico se **incorpora al analizador sintáctico** construido con Bison **insertando en las acciones de las reglas las comprobaciones propias del análisis semántico** (posteriormente también se incorporará la generación de código).

- ✖ Para la implementación del compilador de ALFA se propone¹ el siguiente conjunto de atributos:
 - ✖ **char* lexema**: guarda el lexema de los identificadores.
 - ✖ **int tipo**: guarda el tipo de una expresión (TIPO_ENTERO, TIPO_LOGICO) Definir “alfa.h”.
 - ✖ **int valor_entero**: guarda el valor de una constante entera.
 - ✖ **int es_direccion**: atributo que indica si un símbolo representa una dirección de memoria o es un valor constante.
 - ✖ **int etiqueta**: atributo necesario para gestión de sentencias condicionales e iterativas. Es un atributo definido exclusivamente para la generación de código.

- ✖ IMPORTANTE: no confundir la información guardada en la tabla de símbolos con la información que se guarda en el sistema de atributos.

¹ La elección de los atributos no es única, existen distintas alternativas.

- ✖ Los **atributos semánticos** de los **terminales** lo proporciona (calcula) el analizador léxico de la siguiente manera:
 - ✖ los **identificadores** tienen como valor semántico su **lexema**.
 - ✖ las **constantes enteras** tienen como valor semántico su **valor numérico**.

- ✖ Los **atributos semánticos** de los **no terminales** se calculan en el proceso de análisis sintáctico/semántico. Cada vez que se reduce una producción, se pueden calcular los atributos semánticos del símbolo no terminal de la parte izquierda de la producción.

- ✗ En Bison, los atributos semánticos se definen con la declaración **%union** en el fichero de especificación.
- ✗ La declaración %union de Bison se transforma en una definición de tipo union de C. Este tipo de datos de C sólo permite el uso de uno de sus campos, y no es válido para símbolos con múltiples atributos. Para permitir la **multiplicidad de atributos**, se puede definir en la declaración %union un sólo campo (atributos) cuyo tipo (tipo_atributos) sea un tipo definido como struct con tantos campos como sea necesario para contemplar todos los casos posibles de valores semánticos de cualquier símbolo del lenguaje (terminal o no terminal).

NOTA: El tipo “tipo_atributos” se puede definir en un fichero de cabecera aparte.

Definición de los atributos semánticos

- ✖ En la declaración **%union** del fichero **alfa.y**, se define un sólo campo, **atributos**, cuyo tipo sea **tipo_atributos** (definido en el fichero **alfa.h**).
- ✖ Se cualifican con **<atributos>** las declaraciones **%token** de los símbolos terminales que tienen valor semántico.
- ✖ Se añaden las correspondientes declaraciones **%type** para los **no terminales** que tengan **atributos semánticos**.

alfa.y

```
%{
#include "alfa.h"
...
}%
%union
{
    tipo_atributos atributos;
}

%token <atributos> TOK_IDENTIFICADOR
%token <atributos> TOK_CONSTANTE_ENTERA

/* resto de los tokens sin valor */
/* semántico */

%type <atributos> exp
%type <atributos> comparacion

/* resto de los no terminales */
/* con atributos semánticos */

...

%%
...
%%
...
```

Definición de los atributos semánticos

- ✗ En el fichero **alfa.h** se define el tipo **tipo_atributos** como un struct con los siguientes campos :
 - ✗ **lexema**: para identificadores.
 - ✗ **tipo**: para comprobación de tipos básicos.
 - ✗ **valor_entero**: para constantes enteras.
 - ✗ **es_direccion**: para controlar lo que representa cada símbolo (una dirección de memoria o un valor constante).
 - ✗ **etiqueta**: para la generación de código de sentencias condicionales e iterativas.

alfa.h

```
#ifndef _ALFA_H
#define _ALFA_H

#define MAX_LONG_ID 100
#define MAX_TAMANIO_VECTOR 64
...

/* otros defines */

typedef struct
{
    char lexema[MAX_LONG_ID+1];
    int tipo;
    int valor_entero;
    int es_direccion;
    int etiqueta;
} tipo_atributos;

#endif
```

- ✗ El fichero **alfa.l** se modifica para que el analizador léxico actualice los atributos semánticos de los terminales.

Descripción general

- ✖ **Descripción de la semántica:** los identificadores tienen que ser declarados antes de su uso y deben ser únicos en su ámbito. Es decir:
 - ✖ Las **variables (globales y locales)** deben ser declaradas antes de su uso y además ser únicas en su ámbito de declaración.
 - ✖ Las **funciones** deben ser declaradas antes de su uso y ser únicas en su ámbito de declaración.
 - ✖ Los **parámetros** formales de las funciones son tratados como variables locales de la función y como tales deben ser únicos en su ámbito de declaración. Son declarados implícitamente antes de su uso ya que aparecen en la cabecera de la función.

- ✖ **Comprobaciones semánticas:** se necesitan dos acciones diferentes:
 - ✖ En la **declaración** de una variable/función/parámetro hay que comprobar que no existe dentro de su ámbito otra variable/función/parámetro con el mismo identificador antes de registrarla en el sistema, es decir, guardarla en la tabla de símbolos.
 - ✖ En el **uso**/aparición de una variable/función/parámetro hay que comprobar que previamente ha sido declarada, es decir, que está guardada en la tabla de símbolos.

Gestión de ámbitos

- ✖ La gestión de ámbitos anidados se puede implementar utilizando una pila de tablas de símbolos. Si el número máximo de ámbitos es 2, también se puede usar 2 tablas para gestionar los ámbitos.
- ✖ En la compilación, es necesario realizar las siguientes acciones:
 - ✖ **Antes de la primera declaración del programa fuente se debe inicializar la tabla de símbolos.** Este proceso de inicialización implica crear una tabla de símbolos vacía correspondiente al ámbito principal. La inicialización se puede realizar en uno de los dos puntos siguientes:
 - ✖ En el programa principal antes de invocar a la función de análisis sintáctico.
 - ✖ En la producción del axioma antes de la sección de declaraciones. En cualquiera de los puntos •

programa: • TOK_MAIN • '{' • declaraciones funciones sentencias '}'

Se crea un nuevo no terminal “ficticio” y se añade una producción lambda en cuya acción semántica se inicializa la tabla de símbolos. Por ejemplo:

```
programa: inicioTabla TOK_MAIN '{' declaraciones funciones sentencias '}'
inicioTabla: {
    /* Acciones de inicialización de la tabla de símbolos */
}
```

Gestión de ámbitos

- ✖ **En la declaración de una función hay que abrir un nuevo ámbito**, el correspondiente a la función. Se verá con detalle más adelante.
- ✖ **Al terminar la compilación**, liberar los recursos de la tabla de símbolos. Se puede hacer en:
 - ✖ El programa principal, cuando termina la función de análisis sintáctico.
 - ✖ En el fichero de especificación Bison. En este caso habría que contemplar las dos posibles finalizaciones de la función de análisis, con error o sin error. Si no hay error se puede hacer la liberación en la producción del axioma, al final de la misma. Si hay error se podría hacer en la función yyerror.

Declaración y uso de identificadores

Inserción en la tabla de símbolos

✖ Las declaraciones de **variables globales** y **locales** se ajustan a la sintaxis definida por las siguientes producciones de la gramática de ALFA:

- ✖ (1) programa : TOK_MAIN '{' declaraciones funciones sentencias '}'
- ✖ (2) declaraciones : declaracion
- ✖ (3) | declaracion declaraciones
- ✖ (4) declaracion : clase identificadores ';'
- ✖ (18) identificadores : identificador
- ✖ (19) identificadores : identificador ',' identificadores
- ✖ (22) funcion : TOK_FUNCTION tipo identificador '(' parametros_funcion ')' '{' declaraciones_funcion sentencias '}'
- ✖ (28) declaraciones_funcion : declaraciones
- ✖ (29) |

✖ identificador : TOK_IDENTIFICADOR



Esta producción se añadió a la gramática cuando se implementó en analizador sintáctico.

Inserción en la tabla de símbolos

- ✖ Del estudio de las producciones relacionadas con la declaración de variables globales y locales, parámetros y funciones, se puede deducir que **cada vez que se realiza una declaración se reduce la producción siguiente:**

- ✖ identificador : TOK_IDENTIFICADOR

Por lo tanto, **parece que el punto adecuado para insertar los identificadores de las variables globales y locales, parámetros y funciones en la tabla de símbolos es la acción semántica de la producción anterior.** No obstante, veremos que es más adecuado utilizar esta producción únicamente para variables locales y globales, y usar otros mecanismos para la inserción de los identificadores de parámetros y funciones.

Inserción en la tabla de símbolos

- ✖ Independientemente del punto seleccionado para la inserción de un identificador en la tabla de símbolos, es necesario **disponer** en dicho punto de **toda la información asociada al identificador**, como por ejemplo:
 - ✖ **lexema**
 - ✖ **categoría** (variable, parámetro o función)
 - ✖ **clase** (escalar o vector)
 - ✖ **tipo** (entero o booleano)
 - ✖ **tamaño** (número de elementos de un vector)
 - ✖ **número de variables locales**
 - ✖ **posición de variable local**
 - ✖ **número de parámetros**
 - ✖ **posición de parámetro**
- ✖ En el momento de la inserción en la tabla de símbolos se debe comprobar la **unicidad** de los identificadores.

Inserción en la tabla de símbolos

- ✖ Los objetivos del análisis semántico en el procesamiento de la **declaración de identificadores** son los siguientes:
 - ✖ Insertar en la tabla de símbolos cada identificador de variable global o local, parámetro o función con su correspondiente información asociada.
 - ✖ Controlar la unicidad de identificadores (haciendo uso de la tabla de símbolos).
- ✖ Para la inserción de cualquier identificador es necesario definir:
 - ✖ El punto en el que se realiza la inserción.
 - ✖ Los mecanismos que permiten disponer en ese punto de la información asociada al identificador.
- ✖ Se distinguirán tres casos diferentes:
 - ✖ Inserción de identificadores de variables globales y locales.
 - ✖ Inserción de identificadores de parámetros de funciones.
 - ✖ Inserción de identificadores de funciones.

Introducción

- ✖ El punto adecuado para insertar los identificadores de variables globales y locales en la tabla de símbolos es la acción semántica de la producción:

identificador : TOK_IDENTIFICADOR

- ✖ El esquema general de la acción semántica se muestra en la siguiente figura.
- ✖ La búsqueda se realiza en el ámbito donde se efectúa la inserción, es decir, el ámbito actual.

identificador : **TOK_IDENTIFICADOR**

Buscar en la tabla de símbolos (ámbito actual)
el identificador \$1.lexema

NO

¿ existe ?

SI

INSERTAR el identificador en la tabla de símbolos (ámbito actual)
con los siguientes valores

clave = \$1.lexema

categoría = la que tenga (ver siguientes transparencias)

tipo = el que tenga (ver siguientes transparencias)

clase = la que tenga (ver siguientes transparencias)

tamaño = el que tenga (ver siguientes transparencias)

etc

Mostrar mensaje de error semántico
"Identificador \$1.lexema duplicado"

Terminar con error semántico

Declaración de variables globales y locales

Propagación de las características de la declaración a las variables de la lista

- ✖ Una declaración de variables globales o locales en ALFA puede ser, por ejemplo:

```
int X, Y, Z;
```

en la que se declara que las variables X, Y y Z tienen las siguientes características:

- ✖ Son de tipo entero.
- ✖ Son de clase escalar.

- ✖ Otra declaración podría ser:

```
array boolean [8] A1, A2;
```

en la que se declara que las variables A1 y A2 tienen las siguientes características:

- ✖ Son de clase vector.
- ✖ El tipo base de los vectores es el tipo lógico.
- ✖ El tamaño de los vectores es 8.

Propagación de las características de la declaración a las variables de la lista

- ✖ **Las características/propiedades** de una declaración de **variables globales o locales** son las siguientes:
 - ✖ **categoría** (variable)
 - ✖ **clase** (escalar o vector)
 - ✖ **tipo** (entero o lógico)
 - ✖ **número de elementos** (en el caso de vectores)
 - ✖ **posición** (en el caso de variable local)

Propagación de las características de la declaración a las variables de la lista

- ✖ La producción correspondiente a una línea declarativa de variables globales o locales es la siguiente:

(4) **declaracion: clase identificadores ';'**

Como puede observarse, se realiza en primer lugar la reducción del no terminal **clase** y posteriormente la reducción del no terminal **identificadores**. Por lo tanto se puede deducir que:

- ✖ Durante la reducción del no terminal clase se establecen las características de la declaración.
 - ✖ El no terminal identificadores tiene que "heredar" del no terminal clase las características de la declaración.
-
- ✖ Debido a que la herencia de atributos no es compatible con el análisis ascendente, es necesario establecer un mecanismo para implementar dicha herencia. El mecanismo más sencillo es el uso de variables globales, una para cada atributo heredado. A continuación se describen dichas variables.

Propagación de las características de la declaración a las variables de la lista

- ✖ Una variable global, **tipo_actual**, para propagar el **tipo de la declaración**. Esta variable se actualiza con el valor correspondiente (entero o lógico) en las siguientes producciones:
 - ✖ (10) tipo : TOK_INT
 - ✖ (11) tipo : TOK_BOOLEAN

- ✖ Una variable global, **clase_actual**, para propagar la **clase de la declaración**. Esta variable se actualiza con el valor correspondiente (escalar o vector) en las siguientes producciones:
 - ✖ (5) clase : clase_escalar
 - ✖ (7) clase : clase_vector

- ✖ Una variable global, **tamano_vector_actual** para uso exclusivo en declaraciones de vectores. Permite propagar el **tamaño** del mismo. Esta variable se actualiza en la siguiente producción:
 - ✖ (15) clase_vector : TOK_ARRAY tipo '[' constante_entera ']'

Propagación de las características de la declaración a las variables de la lista

- ✖ Una variable global, **pos_variable_local_actual**, para propagar la **posición de una variable local** en declaraciones correspondientes a variables locales. Esta variable se puede gestionar de la siguiente manera:
 - ✖ se inicializa a 1 antes de la sección declarativa de una función.
 - ✖ se incrementa cada vez que se procese la declaración de una variable local, es decir, en la producción:

identificador : TOK_IDENTIFICADOR

- ✖ En resumen, **el valor de las variables globales se establece en las acciones semánticas de las producciones adecuadas, según se ha explicado en los párrafos anteriores, con el objetivo de disponer de esos valores en las reducciones correspondientes a los identificadores que aparecen en la lista de variables de la declaración** (ver ejemplo en la transparencia 34)

Acciones semánticas de las producciones 5 y 7

```
(5)      clase:  clase_escalar
           {
               clase_actual = ESCALAR1;
           }
(7)      |  clase_vector
           {
               clase_actual = VECTOR1;
           }
           ;
```

¹ Se asume que en “alfa.h” se define:

```
#define ESCALAR 1
#define VECTOR 2
```

Acciones semánticas de las producciones 10 y 11

```
(10)      tipo: TOK_INT
           {
             tipo_actual = INT1;
           }
(11)      | TOK_BOOLEAN
           {
             tipo_actual = BOOLEAN1;
           }
           ;
```

¹ Se asume que en “alfa.h” se define:

```
#define INT 1
#define BOOLEAN 2
```

Acción semántica de la producción 15

- ✖ En la producción 15 se puede sustituir el no terminal constante_entera por el terminal TOK_CONSTANTE_ENTERA para evitar la reducción de la regla:

constante_entera : TOK_CONSTANTE_ENTERA

```
(15)  clase_vector: TOK_ARRAY tipo '[' TOK_CONSTANTE_ENTERA ']'
      {
        tamaño_vector_actual = $4.valor_entero;
        if ((tamaño_vector_actual < 1 ) ||
            (tamaño_vector_actual > MAX_TAMANIO_VECTOR ^1))
        {
          MOSTRAR MENSAJE ERROR SEMÁNTICO
          TERMINAR CON ERROR
        }
      }
      ;
```

¹ Se asume que en “alfa.h” se define:

```
#define MAX_TAMANIO_VECTOR 64
```

Declaración de variables globales y locales

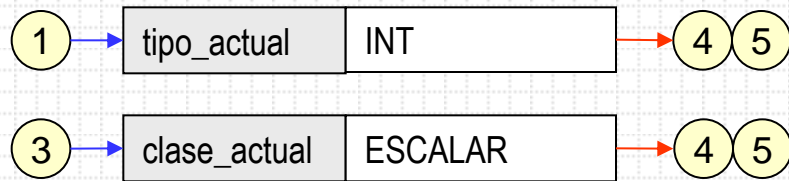
Ejemplo

✖ La declaración **int X, Y;** se analiza como se muestra en la figura

PRODUCCIONES IMPLICADAS

- (2) declaraciones : declaracion
- (4) declaracion : clase identificadores ';'
- (5) clase : clase_escalar
- (9) clase_escalar : tipo
- (10) tipo : TOK_INT
- (18) identificadores : identificador
- (19) identificadores : identificador ',' identificadores
- identificador : TOK_IDENTIFICADOR

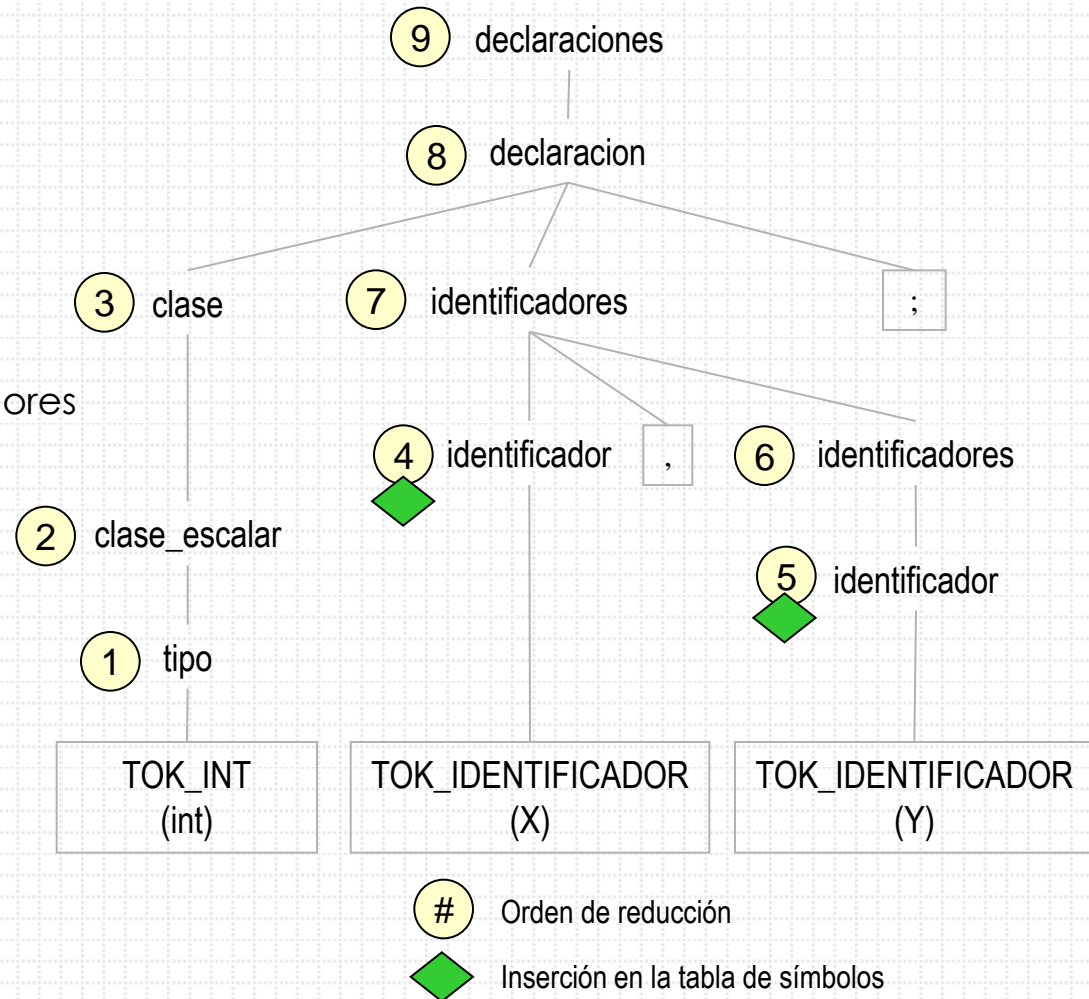
VARIABLES GLOBALES



→ Escritura de la variable

→ Lectura de la variable

ÁRBOL DE ANÁLISIS



Acción semántica adecuada al ámbito de la variable

- ✖ En la acción semántica de la regla del no terminal identificador, se requiere un mecanismo que permita saber si se está realizando la inserción de una variable local o una variable global ya que el tratamiento es ligeramente diferente.
- ✖ **Inserción de variable global:**
 - ✖ Se comprueba que el identificador no exista en el ámbito actual. Si existiera, se genera un mensaje de error semántico y se termina el proceso de compilación con error.
 - ✖ Si el identificador no existe en el ámbito actual, se realiza la inserción utilizando los valores almacenados en las variables globales (tipo_actual, clase_actual, etc)
- ✖ **Inserción de variable local:**
 - ✖ Se comprueba que el identificador no exista en el ámbito actual. Si existiera, se genera un mensaje de error semántico y se termina el proceso de compilación con error.
 - ✖ Se comprueba que la clase de la variable local sea escalar. Si no es así se genera un mensaje de error semántico y se termina el proceso de compilación con error.
 - ✖ Si no hay error semántico se realiza la inserción sin olvidar el uso de la variable global pos_variable_local_actual.
 - ✖ Se incrementa en uno el valor de las siguientes variables globales:
 - ✖ pos_variable_local_actual
 - ✖ num_variables_locales_actual (esta variable almacena el número de variables locales de una función)Se asume que estas variables son correctamente inicializadas (consultar documentación de la gestión de identificadores de funciones)

Declaración de parámetros de función

- ✗ Para procesar la inserción de los identificadores de parámetros se diseña una nueva producción específica de la siguiente manera:

idpf : TOK_IDENTIFICADOR

- ✗ Es necesario modificar la producción 27 para mantener la coherencia con la nueva producción. La regla 27 quedaría de la siguiente manera:

(27) parametro_funcion : tipo **idpf**

- ✗ La acción semántica de esta nueva producción se estructura así:
 - ✗ Se comprueba que el identificador no exista en el ámbito actual (el de la función). Si existiera, se genera un mensaje de error semántico y se termina el proceso de compilación con error.
 - ✗ Si no hay error semántico se realiza la inserción sin olvidar el uso de la variable global pos_parametro_actual.
 - ✗ Se incrementa en uno el valor de las siguientes variables globales:
 - ✗ pos_parametro_actual
 - ✗ num_parametros_actual (esta variable almacena el número de parámetros de una función)
- Se asume que estas variables son correctamente inicializadas (consultar documentación de la gestión de identificadores de funciones)

- ✗ La inserción de los identificadores de funciones en la tabla de símbolos puede resolverse con el esquema de acciones que se marcan en la siguiente producción:

(22) `funcion : TOK_FUNCTION tipo TOK_IDENTIFICADOR ❶`
 `'(' parametros_funcion ')' '{' declaraciones_funcion ❷`
 `sentencias '}' ❸`

- ✗ La situación de las acciones en puntos intermedios de la producción sugiere la modificación de la gramática original de la siguiente manera:

`fn_name : TOK_FUNCTION tipo TOK_IDENTIFICADOR ❶`
`fn_declaration : fn_name '(' parametros_funcion ')' '{' declaraciones_funcion ❷`
`funcion : fn_declaration sentencias '}' ❸`

- ✗ La primera producción añadida a la gramática es:

fn_name : TOK_FUNCTION tipo TOK_IDENTIFICADOR ❶

- ✗ La acción del punto ❶ implica las siguientes tareas:

- ✗ Buscar el identificador en el ámbito actual (el exterior a la función). Generar un error semántico si ya existe y terminar el proceso de compilación con error.
- ✗ Si no ha habido error, abrir un ámbito nuevo. Esta operación implica:
 - ✗ insertar el identificador de la función en el ámbito actual (el exterior a la función)
 - ✗ crear un nuevo ámbito (el de la función) e insertar en él el identificador de la función.

En este punto la información disponible acerca del identificador de la función se reduce al tipo de retorno de la misma. En los otros puntos marcados se completará esa información.

- ✗ Inicializar las siguientes variables globales:
 - ✗ num_variables_locales_actual = 0
 - ✗ pos_variable_local_actual = 1
 - ✗ num_parametros_actual = 0
 - ✗ pos_parametro_actual = 0
- ✗ Propagar a la parte izquierda de la regla el lexema del identificador de la función para su posterior uso en la acción del punto marcado como ❷.

- ✗ La segunda producción añadida a la gramática es la siguiente:

fn_declaration : fn_name '(' parametros_funcion ')' '{' declaraciones_funcion ❷

- ✗ En la regla se puede observar que después de procesar el nombre de la función como consecuencia de la reducción del nuevo no terminal fn_name, se reducen los no terminales correspondientes a los parámetros de la función y a sus variables locales.
- ✗ La gestión de los identificadores de los parámetros y las variables locales se realiza como ya se ha expuesto anteriormente.
- ✗ En el punto ❷ ya se conoce el número de parámetros de la función, y es necesario actualizar en ese punto dicha información en la tabla de símbolos del ámbito actual para poder permitir el control semántico de dicha propiedad en las llamadas recursivas (si las hubiera)

- ✖ La acción del punto ❷ implica las siguientes tareas:
 - ✖ Acceder al identificador de la función en el ámbito actual (el de la función) y actualizar la información correspondiente al número de parámetros.
El acceso al identificador se puede realizar haciendo uso del lexema guardado como atributo del no terminal `fn_name` que se propagó en la acción ❶.
 - ✖ Propagar a la parte izquierda de la regla el lexema del identificador de la función para su posterior uso en la acción del punto marcado como ❸.

- ✗ La inserción en la gramática de los dos nuevos símbolos `fn_name` y `fn_declaration` hace que la producción 22 de la gramática original quede modificada de la siguiente manera:

`funcion : fn_declaration sentencias '}'` ③

- ✗ La acción del punto ③ implica las siguientes tareas:
 - ✗ Cerrar el ámbito de la función.
 - ✗ Acceder al identificador de la función en el ámbito actual (el exterior a la función) y actualizar la información correspondiente al número de parámetros.
El acceso al identificador se puede realizar haciendo uso del lexema guardado como atributo del no terminal `fn_declaration` que se propagó en la acción ②.

- ✗ Cada vez que se **usa** un identificador hay que comprobar si se ha **declarado previamente**.
- ✗ Para comprobar si un identificador ha sido declarado, simplemente se **busca en la tabla de símbolos**. Si la búsqueda termina con éxito significa que el identificador ha sido declarado y que en la compilación de su declaración se insertó en la tabla de símbolos. Es importante no olvidar que la **búsqueda se debe realizar en el ámbito actual y en todos los ámbitos que lo engloban**.
- ✗ Las producciones de la gramática que reflejan el **uso de identificadores** son aquellas pertenecientes a la **sección de sentencias** en las que aparece el no terminal “identificador”.
- ✗ La producción del no terminal “identificador” ya está reservada para realizar la inserción de identificadores en la tabla de símbolos. Por lo tanto, es necesario **sustituir en las producciones de la gramática que reflejan el uso de identificadores la aparición del no terminal “identificador” por el terminal TOK_IDENTIFICADOR**.

✖ Algunas de las producciones que se tienen que modificar son las siguientes:

✖ (43) asignacion : TOK_IDENTIFICADOR '=' exp

.....

✖ (48) elemento_vector : TOK_IDENTIFICADOR '[' exp ']'

.....

✖ (54) lectura : TOK_SCANF TOK_IDENTIFICADOR

.....

✖ (80) exp : TOK_IDENTIFICADOR

.....

✖ etc

✖ Ejemplo

lectura: TOK_SCANF TOK_IDENTIFICADOR

```
{  
    Buscar en la tabla de símbolos (todos los ámbitos abiertos) el identificador $2.lexema  
    Si no existe  
    {  
        MOSTRAR MENSAJE ERROR SEMÁNTICO  
        TERMINAR CON ERROR  
    }  
    En caso contrario hacer lo correspondiente a la producción  
    {  
        COMPROBACIONES SEMÁNTICAS  
        Si el identificador es una función → ERROR SEMÁNTICO  
        Si el identificador es un vector → ERROR SEMÁNTICO  
  
        GENERACIÓN DE CÓDIGO: APILAR LA DIRECCIÓN DEL IDENTIFICADOR  
        Si el identificador es una variable global , su dirección es su lexema  
        Si el identificador es un parámetro o una variable local, su dirección se expresa en función de ebp y la  
        posición del parámetro o variable local  
  
        GENERACIÓN DE CÓDIGO: LLAMAR A LA FUNCIÓN DE LA LIBRERÍA ALFALIB.O  
        Si el identificador es de tipo entero llamar a scan_int  
        Si el identificador es de tipo lógico llamar a scan_boolean  
        Restaurar la pila  
    }  
}
```

Comprobación de tipos

- ✖ **Descripción de la semántica:** En las expresiones aritméticas sólo pueden aparecer datos de tipo numérico, es decir, int. Si en una expresión aritmética aparecen operandos de distinto tipo, es decir, un entero y un booleano, se produce un error semántico.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** hay que comprobar que los operandos son de tipo int en las siguientes producciones y asignar el mismo tipo a la expresión resultante:
 - ✖ (72) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '+' exp}$
 - ✖ (73) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '-' exp}$
 - ✖ (74) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '/' exp}$
 - ✖ (75) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '*' exp}$
 - ✖ (76) $\text{exp} : \text{'-'} \text{ exp}$

Implementación

- ✖ En la producciones correspondientes a expresiones aritméticas, las tareas que realiza el analizador semántico son:
 - ✖ Realizar las comprobaciones adecuadas en cada producción. Si alguna comprobación no es correcta se genera un error semántico y se termina la compilación con error.
 - ✖ Calcular (propagar) los atributos correspondientes.
- ✖ En la producción correspondiente a la suma de expresiones:

(72) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '+' exp}$

Se comprueba que:

- ✖ Las dos expresiones son de tipo entero, accediendo a través de $\$1.\text{tipo}$ y $\$3.\text{tipo}$.

Se calculan los atributos:

- ✖ El tipo del símbolo de la parte izquierda es entero ($\$\$. \text{tipo} = \text{INT}$).
- ✖ El símbolo de la parte izquierda no es una dirección de memoria, es un valor ($\$\$. \text{es_direccion} = 0$)

Implementación

- ✖ En las producciones correspondientes a las demás operaciones aritméticas se realizan las mismas comprobaciones y cálculo de atributos:

- ✖ (73) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '-' exp}$
- ✖ (74) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '/' exp}$
- ✖ (75) $\text{exp} : \text{exp} \text{ '*' exp}$
- ✖ (76) $\text{exp} : \text{'-'} \text{ exp}$

Comprobación de tipos

- ✖ **Descripción de la semántica:** En las expresiones lógicas sólo pueden aparecer datos de tipo boolean. El tipo de una expresión lógica boolean.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** hay que comprobar que los operandos son de tipo boolean en las siguientes producciones y asignar el tipo correspondiente a la expresión resultante:
 - ✖ (77) $\text{exp} : \text{exp TOK_AND exp}$
 - ✖ (78) $\text{exp} : \text{exp TOK_OR exp}$
 - ✖ (79) $\text{exp} : \text{'!'} \text{exp}$

Implementación

- ✖ En las producciones correspondientes a expresiones lógicas, las tareas que realiza el analizador semántico son:
 - ✖ Realizar las comprobaciones adecuadas en cada producción. Si alguna comprobación no es correcta se genera un error semántico y se termina el proceso de compilación con error.
 - ✖ Calcular (propagar) los atributos correspondientes.
- ✖ En la producciones correspondientes a las operaciones de conjunción y disyunción de expresiones:

(77) $\text{exp} : \text{exp TOK_AND exp}$

(78) $\text{exp} : \text{exp TOK_OR exp}$

Se comprueba que:

- ✖ Las dos expresiones son de tipo lógico, accediendo a través de $\$1.\text{tipo}$ y $\$3.\text{tipo}$.

Se calculan los atributos:

- ✖ El tipo del símbolo de la parte izquierda es lógico ($\$$. \text{tipo} = \text{BOOLEAN}$).
- ✖ El símbolo de la parte izquierda no es una dirección de memoria, es un valor ($\$$. \text{es_direccion} = 0$).

Implementación

- ✖ En la producción correspondiente a la negación lógica:

(79) $\text{exp} : '!' \text{exp}$

Sólo es necesario comprobar que el tipo de la expresión de la parte derecha es boolean.

Se calculan los atributos:

- ✖ El tipo del símbolo de la parte izquierda es lógico ($$$.\text{tipo} = \text{BOOLEAN}$).
- ✖ El símbolo de la parte izquierda no es una dirección de memoria, es un valor ($$$.\text{es_direccion} = 0$).

Comprobación de tipos

- ✖ **Descripción de la semántica:** Las comparaciones sólo pueden operar con datos de tipo numérico, siendo el resultado de la comparación de tipo boolean.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** hay que comprobar que los elementos comparados son de tipo numérico en las siguientes producciones y asignar el tipo correspondiente (boolean) a la expresión resultante:
 - ✖ (93) comparacion : exp TOK_IGUAL exp
 - ✖ (94) comparacion : exp TOK_DISTINTO exp
 - ✖ (95) comparacion : exp TOK_MENORIGUAL exp
 - ✖ (96) comparacion : exp TOK_MAYORIGUAL exp
 - ✖ (97) comparacion : exp '<' exp
 - ✖ (98) comparacion : exp '>' exp

Implementación

- ✖ En todas las producciones correspondientes a las comparaciones de expresiones, las únicas tareas que realiza el analizador semántico son:

Comprobar que,

- ✖ Las dos expresiones son de tipo numérico, accediendo a través de `$1.tipo` y `$3.tipo`.

Calcular los atributos:

- ✖ El tipo del símbolo de la parte izquierda es lógico (`$$.tipo = BOOLEAN`).
- ✖ El símbolo de la parte izquierda no es una dirección de memoria, es un valor (`$$es_direccion = 0`).

- ✖ Las producciones en las que se implementan las comprobaciones semánticas son:

- ✖ (93) comparacion : exp TOK_IGUAL exp
- ✖ (94) comparacion : exp TOK_DISTINTO exp
- ✖ (95) comparacion : exp TOK_MENORIGUAL exp
- ✖ (96) comparacion : exp TOK_MAYORIGUAL exp
- ✖ (97) comparacion : exp '<' exp
- ✖ (98) comparacion : exp '>' exp

Introducción

- ✖ Todas las producciones relacionadas con las constantes sean del tipo que sean únicamente incorporan cálculo (propagación) de atributos. La semántica de ALFA no exige la realización de comprobaciones semánticas para las constantes.
- ✖ Las producciones relacionadas con las constantes son las siguientes:
 - ✖ (81) `exp: constante`
 - ✖ (99) `constante : constante_logica`
 - ✖ (100) `constante : constante_entera`
 - ✖ (102) `constante_logica : TOK_TRUE`
 - ✖ (103) `constante_logica : TOK_FALSE`
 - ✖ (104) `constante_entera : TOK_CONSTANTE_ENTERA`

Implementación

- ✖ En la producción que se reduce cuando el analizador morfológico identifica en la entrada una constante entera, se realiza la siguiente propagación de atributos:

```
(104) constante_entera: TOK_CONSTANTE_ENTERA
    {
        $$.tipo = INT;
        $$.es_direccion = 0;
    }
;
```

Implementación

- ✖ Las producciones que se reducen cuando el analizador morfológico identifica en la entrada una constante booleana, contienen la siguiente propagación de atributos:

```
(102) constante_logica: TOK_TRUE
    {
        $$.tipo = BOOLEAN;
        $$.es_direccion = 0;
    }
    ;
```

```
(103) constante_logica: TOK_FALSE
    {
        $$.tipo = BOOLEAN;
        $$.es_direccion = 0;
    }
    ;
```

Implementación

- ✖ Por último, las producciones intermedias que representan que una constante es entera o lógica, tienen el siguiente cálculo de atributos:

```
(99)  constante : constante_logica
      {
          $$.tipo = $1.tipo;
          $$es_direccion = $1.es_direccion;
      }
(100) constante : constante_entera
      {
          $$.tipo = $1.tipo;
          $$es_direccion = $1.es_direccion;
      }
      ;
```

Introducción

- ✖ El no terminal **exp** tiene varias producciones además de las relativas a expresiones aritméticas y lógicas cuyas comprobaciones semánticas ya han sido descritas. Estas producciones son:
 - ✖ (80) exp: TOK_IDENTIFICADOR
 - ✖ (81) exp: constante
 - ✖ (82) exp: '(' exp ')'
 - ✖ (83) exp: '(' comparacion ')'
 - ✖ (85) exp: elemento_vector
 - ✖ (88) exp: TOK_IDENTIFICADOR '(' lista_expresiones ')'

- ✖ Las comprobaciones semánticas de cada una de las producciones se describe a continuación.

Implementación

- ✖ En la producción siguiente:

(80) `exp : TOK_IDENTIFICADOR`

Se comprueba que:

- ✖ El identificador (`$1.lexema`) existe en la tabla de símbolos (en cualquiera de los ámbitos abiertos). Si el identificador no existe, se genera un error semántico y se termina el proceso de compilación con error.
- ✖ El identificador no es ni de categoría función (es decir, es una variable o un parámetro), ni de clase vector (es decir, es un escalar).

Se calculan los atributos:

- ✖ El tipo del símbolo `exp` de la parte izquierda (`$$.tipo`) se establece haciendo uso de la información almacenada en la tabla de símbolos para el identificador de la parte derecha de la producción. (IMPORTANTE, `$1.tipo` no almacena el tipo del identificador, el tipo está en la tabla de símbolos).
- ✖ El símbolo de la parte izquierda representa una dirección de memoria (`$$es_direccion=1`).

Implementación

- ✖ Las producciones (81) a (85) únicamente contienen en su acción semántica las siguientes instrucciones para propagar atributos:
 - ✖ $$$.\text{tipo} = \$1.\text{tipo}$ en las producciones 81 y 85.
 - ✖ $$$.\text{tipo} = \$2.\text{tipo}$ en las producciones 82 y 83.
 - ✖ $$$.\text{es_direccion} = \$1.\text{es_direccion}$ en las producciones 81 y 85.
 - ✖ $$$.\text{es_direccion} = \$2.\text{es_direccion}$ en las producciones 82 y 83.

Implementación

- ✖ La producción 88 define la sintaxis de la llamada a una función:

(88) exp: TOK_IDENTIFICADOR '(' lista_expresiones ')'

- ✖ La descripción de la semántica es la siguiente:
 - ✖ En las sentencias de llamadas a funciones, sólo es necesario comprobar la corrección del número de argumentos. No es necesario realizar ninguna comprobación de la correspondencia de tipos.
 - ✖ En las llamadas a funciones, no se puede escribir, en un parámetro, una llamada a otra función.
- ✖ En primer lugar, se comprueba que el identificador existe en la tabla de símbolos y además tiene categoría de función.

Implementación

- ✖ Para comprobar la corrección del número de argumentos es necesario un mecanismo que permita “contar” el número de elementos de la lista de expresiones para poder compararlo con el número de parámetros con el que se definió la función y que está almacenado en la tabla de símbolos.
- ✖ Un posible mecanismo sería usar una variable global **num_parametros_llamada_actual** para contar el número de parámetros de la llamada. La inicialización a 0 de esta variable se haría antes de comenzar a procesar el no terminal lista_expresiones, y se incrementaría en 1 cada vez que se procesara uno de los elementos de la lista.
- ✖ Para comprobar que no haya una llamada a función en el lugar de un parámetro, se puede utilizar otra variable global **en_explist** que se inicialice a 1 antes de procesar el no terminal lista_expresiones. Y posteriormente, en cualquier llamada a función se comprobará que en_explist no sea 1. Por último, al terminar la llamada a función se reseteará a 0 esta variable.

Implementación

- ✖ Agrupando todas las tareas necesarias para implementar la semántica de la llamadas a funciones, se deduce que hay dos puntos en los que se ubican las acciones:

(88) exp: TOK_IDENTIFICADOR ❶ '(' lista_expresiones ')' ❷

- ✖ Se modifica la gramática para situar la acción del punto ❶ al final de una producción, añadiendo la siguiente regla:

idf_llamada_funcion : TOK_IDENTIFICADOR ❶

Por lo tanto, la producción 88 de la gramática original ahora quedaría de la siguiente manera:

(88) exp: idf_llamada_funcion '(' lista_expresiones ')' ❷

Implementación

- ✖ La acción del punto ❶ implica las siguientes tareas:
 - ✖ Buscar el identificador en la tabla de símbolos. Generar un error semántico si no existe y terminar el proceso de compilación con error.
 - ✖ Comprobar que el identificador es de categoría función.
 - ✖ Como después del identificador empieza la lista de expresiones correspondiente a los parámetros de la llamada, hay que comprobar que la variable `en_explist` no valga 1 para asegurar que la actual llamada a función no es un parámetro de llamada a función.
 - ✖ Inicializar a 0 la variable `num_parametros_llamada_actual`.
 - ✖ Inicializar a 1 la variable `en_explist` ya que después del identificador empieza la lista de expresiones correspondiente a los parámetros de la llamada.
 - ✖ Propagar el lexema del identificador ya que se va a necesitar en el punto ❷.

- ✖ La acción del punto ❷ implica las siguientes tareas:
 - ✖ Comprobar que el número de parámetros de la llamada es correcto comparando el valor de la variable global `num_parametros_llamada_actual` con la información almacenada en la tabla de símbolos.
 - ✖ Resetear a 0 la variable `en_explist`.
 - ✖ El tipo del símbolo de la parte izquierda `exp ($$.tipo)` se iguala al tipo de retorno de la función que está almacenado en la tabla de símbolos.
 - ✖ El símbolo de la parte izquierda no representa una dirección, es un valor (`$$es_direccion=0`).

Implementación

- ✖ Por último, sólo faltaría decidir los puntos en los que se debe actualizar la variable global `num_parametros_llamada_actual`. Las producciones indicadas para ello son las siguientes:

(89) `lista_expresiones: exp resto_lista_expresiones`

(91) `resto_lista_expresiones: ',' exp resto_lista_expresiones`

En ambas producciones únicamente hay que realizar la acción:

`num_parametros_llamada_actual++`

Comprobación de tipos

- ✖ **Descripción de la semántica:** Para que una sentencia de asignación sea válida, los tipos de dato de la parte izquierda y derecha deben ser iguales.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** hay que comprobar que son iguales los tipos de la parte izquierda y derecha de la asignación en las siguientes producciones:
 - ✖ (43) asignacion : TOK_IDENTIFICADOR '=' exp
 - ✖ (44) asignacion : elemento_vector '=' exp

Implementación

- ✖ La primera producción corresponde a la asignación de una expresión a un identificador:

(43) asignacion: TOK_IDENTIFICADOR '=' exp

Se comprueba que:

- ✖ El identificador existe en la tabla de símbolos.
- ✖ El identificador no es de categoría función (es decir, es una variable o un parámetro) y no es de clase vector (es decir, es un escalar).
- ✖ Los tipos de ambas partes de la asignación son iguales.

No hay propagación de atributos, no es necesario.

- ✖ La segunda producción corresponde a la asignación de una expresión a un elemento de un vector:

(44) asignacion: elemento_vector '=' exp

Se comprueba que:

- ✖ Los tipos de ambas partes de la asignación son iguales.

No hay propagación de atributos, no es necesario.

Comprobación del tamaño

- ✖ **Descripción de la semántica:** El tamaño de los vectores no podrá exceder nunca el valor de 64.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** hay que comprobar que el tamaño declarado para un vector no excede el límite permitido (64). También hay que comprobar que el tamaño declarado es mayor que 0 (esta restricción no se especifica explícitamente en la descripción de la semántica del lenguaje). Estas comprobaciones se pueden realizar la siguiente producción:

- ✖ (15) `clase_vector : TOK_ARRAY tipo '[' TOK_CONSTANTE_ENTERA ']'`

(VER EPÍGRAFE “Acciones semánticas de las producciones 15 y 16”)

Comprobaciones en el indexado de vectores

- ✖ **Descripción de la semántica:** Para indexar los elementos de un vector se utiliza la cadena “[exp]” a continuación del nombre del vector. Los corchetes deberán contener en su interior una expresión de tipo **int**.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** la producción indicada para comprobar la semántica descrita es la siguiente:
 - ✖ (48) elemento_vector : TOK_IDENTIFICADOR '[' exp ']'

Las comprobaciones que hay que realizar son:

- ✖ El identificador que aparece (\$1.lexema) existe en la tabla de símbolos y además corresponde a la declaración de un vector.
- ✖ La expresión que actúa como índice es de tipo INT (\$3.tipo == INT).

Se propagan los atributos:

- ✖ \$\$.tipo = el tipo que aparece para el lexema \$1.lexema en la tabla de símbolos.
- ✖ \$\$.es_direccion = 1.

Comprobaciones en el indexado de vectores de una dimensión

- ✖ **Descripción de la semántica:** Los corchetes deberán contener en su interior una expresión de tipo **int**, con un valor entre 0 y el tamaño definido para el vector menos 1 (ambos incluidos).
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** en una operación de indexado de un vector de una dimensión, la comprobación de que el valor del índice está dentro del rango permitido sólo se puede realizar en **tiempo de ejecución**, no en tiempo de compilación. Para implementar esta restricción semántica se genera el código ensamblador adecuado para realizar la validación del valor del índice en tiempo de ejecución. La producción indicada para la generación del código es:
 - ✖ (48) elemento_vector : TOK_IDENTIFICADOR '[' exp ']'

- ✖ **Descripción de la semántica:** Las expresiones que aparecen como condiciones en las sentencias **if**, **if-else** y **while** deben ser de tipo boolean.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** hay que comprobar que las condiciones de los bucles **while** y de las sentencias condicionales son de tipo boolean.
Las producciones implicadas en la comprobación de esta restricción semántica son las siguientes:
 - ✖ (50) condicional : TOK_IF '(' exp ')' '{' sentencias '}'
 - ✖ (51) condicional : TOK_IF '(' exp ')' '{' sentencias '}' TOK_ELSE '{' sentencias '}'
 - ✖ (52) bucle : TOK_WHILE '(' exp ')' '{' sentencias '}'

Las comprobaciones se realizan sobre el no terminal `exp` que es el que representa la condición.

- ✖ **Modificación de la gramática:** los puntos adecuados para realizar las comprobaciones sobre el símbolo `exp` se sitúan después de él y antes del no terminal `sentencias`. Por ejemplo, para la sentencia condicional simple, los puntos posibles son los indicados con **{acción}** :

- ✖ (50) condicional : TOK_IF '(' exp **{acción}** ')' '{' sentencias '}'
- ✖ (50) condicional : TOK_IF '(' exp ')' **{acción}** '{' sentencias '}'
- ✖ (50) condicional : TOK_IF '(' exp ')' '{' **{acción}** sentencias '}'

Una vez elegido el punto, para poder situar la acción semántica al final de la regla, sería necesario modificar la gramática. Por ejemplo si se elige el primer punto, la gramática se manipula de la siguiente manera:

- ✖ Se añade un nuevo símbolo no terminal **if_exp** para situar la acción semántica al final de una regla:

`if_exp : TOK_IF '(' exp {acción}`

- ✖ La producción original (50) quedaría de la siguiente manera:

`(50) condicional : if_exp ')' '{' sentencias '}'`

- ✖ En la nueva regla,

if_exp : TOK_IF '(' exp {acción}

Se comprueba que:

- ✖ La expresión es de tipo boolean, es decir, \$3.tipo == BOOLEAN
-
- ✖ Se aplica el mismo razonamiento para la sentencias **if-else** y **while**.

- ✖ **Descripción de la semántica:** La operación de entrada **scanf** se efectúa sobre elementos de clase escalar que son identificadores.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** La producción de entrada de datos es:
 - ✖ (54) lectura : TOK_SCANF TOK_IDENTIFICADOR

Solamente es necesario realizar la siguiente comprobación:

- ✖ El identificador (\$2.lexema) existe en la tabla de símbolos, y es de clase escalar.

- ✖ **Descripción de la semántica:** La operación de escritura **printf** trabaja con expresiones.
- ✖ **Comprobaciones semánticas:** La producción correspondiente a la operación de escritura **printf** es la siguiente:
 - ✖ (56) escritura : TOK_PRINTF exp

En esta producción no hay que realizar ninguna comprobación semántica.

- ✖ **En la descripción de la semántica de ALFA proporcionada en el enunciado de la práctica sólo se mencionan los aspectos más relevantes. Además de éstos, hay un conjunto de restricciones semánticas que también deben estar presentes en el compilador de ALFA, como por ejemplo:**
 - ✖ Una sentencia de retorno de función solamente debe aparecer en el cuerpo de una función.
 - ✖ En el cuerpo de una función obligatoriamente tiene que aparecer al menos una sentencia de retorno.
 - ✖ En una sentencia de retorno el tipo de la expresión debe coincidir con el tipo de retorno de la función.
 - ✖ etc