PROCESADORES DE LENGUAJE

Ingeniería Informática
Especialidad de computación
Tercer curso, segundo cuatrimestre

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

GUION DE LAS CLASES DE PRÁCTICAS

BISON/YACC y FLEX/LEX

Contenido

Ejemplo 1. Reconocimiento de expresiones aritméticas simples

- **DESCRIPCIÓN**
  - Comprueba si las expresiones aritméticas son léxica y sintácticamente correctas.
  - Las expresiones aritméticas están compuestas solamente por números.
  - Se permite la suma, resta, multiplicación y división.
  - También permite expresiones entre paréntesis.
  - Las expresiones deben terminar con un salto de línea.
  - Muestra un mensaje cuando se detecta un error
    - Comando incluido en el fichero ***interpreter.y*** para mostrar más información de un error
      %error-verbose

- **OBSERVACIÓN**
  - No permite operadores unarios:
    - signo "+" unario
      - ✓ *+2*
    - signo "-" unario
      - ✓ *-2*

- **FICHEROS Y SUBDIRECTORIOS**
  - ***interpreter.cpp:*** programa principal
  - ***makefile***: fichero para la compilación del intérprete
  - ***Doxyfile***: fichero de configuración de doxygen
  - ***Subdirectorio parser***
    - ***interpreter.y***: fichero de yacc con la gramática del analizador sintáctico
    - ***interpreter.l***: fichero de lex con las expresiones regulares del analizador léxico
    - ***makefile***: fichero de compilación del subdirectorio parser
  - ***Subdirectorio error***
    - ***error.hpp***: prototipos de las funciones de recuperación de error
    - ***error.cpp***: código de las funciones de recuperación de error
    - ***makefile***: fichero de compilación del subdirectorio error
  - ***Subdirectorio includes***
    - ***macros.hpp***: macros de pantalla
  - ***Subdirectorio examples***
    - ***test.txt***: fichero de ejemplo sin errores
    - ***test-error.txt***: fichero de ejemplo con errores

- **FUNCIONAMIENTO DEL INTÉRPRETE**
  - **Interactivo**

    $./interpreter.exe

stmtlist --> epsilon
2+3
exp --> NUMBER
exp --> NUMBER
exp --> exp '+' exp
stmtlist --> stmtlist exp '\n'
Correct expression

- El programa finaliza
  - ✓ pulsando *Control + D*
  - ✓ o tecleando el carácter **#** al principio de línea

#
>>>>>>> End of file <<<<<<<
program --> stmtlist

- **Redirigiendo un fichero de entrada**

$ ./interpreter.exe < ./examples/test.txt
stmtlist --> epsilon
exp --> NUMBER
stmtlist --> stmtlist exp '\n'
Correct expression

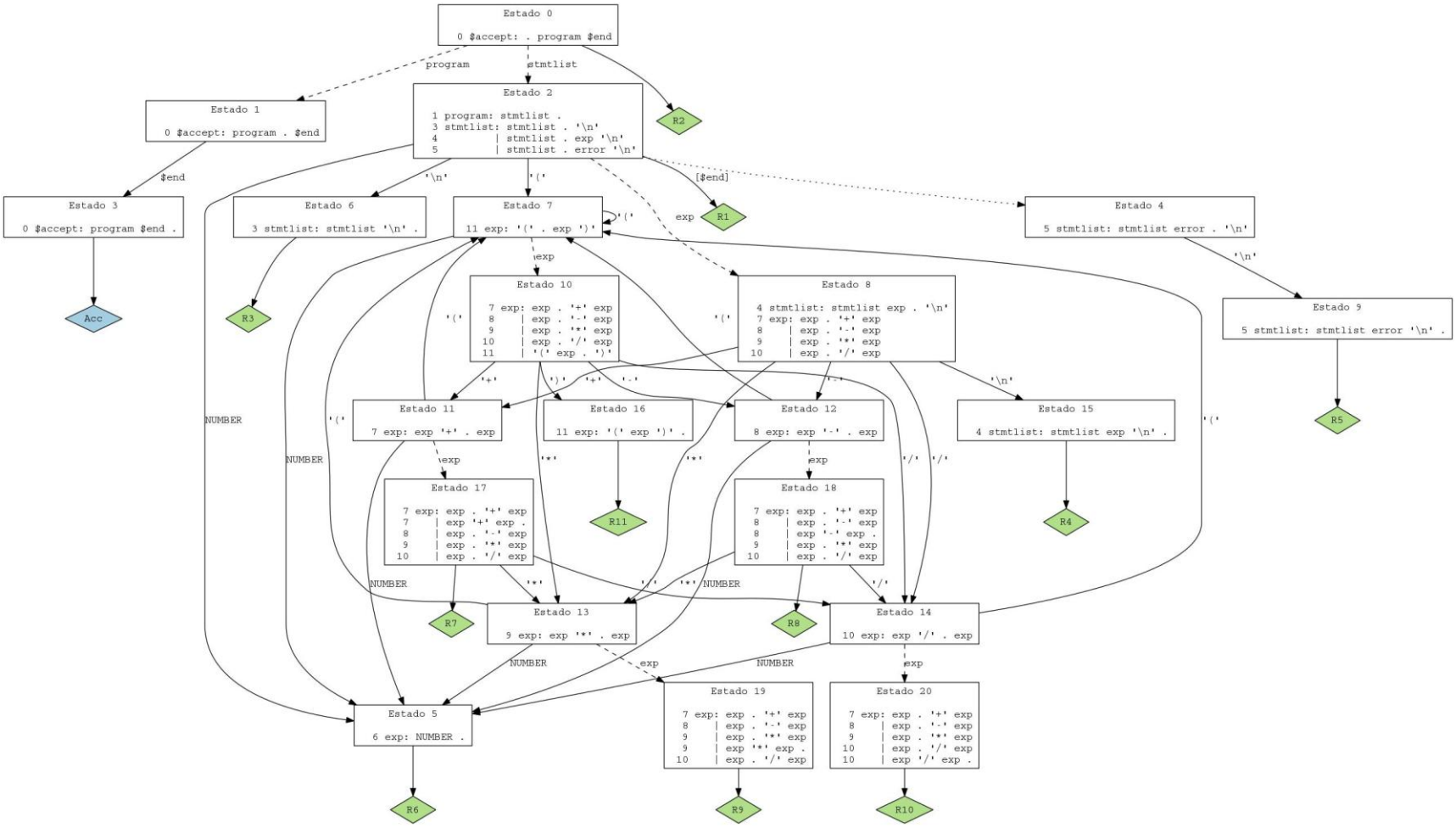
…

>>>>>>> End of file <<<<<<<
program --> stmtlist

- El programa finaliza cuando
  - ✓ lee el carácter de fin de fichero
  - ✓ o lee el carácter **#** al principio de una línea del fichero

- **GENERACIÓN DEL AUTÓMATA FINITO DETERMINISTA QUE RECONOCE LOS PREFIJOS VIABLES**
  - En el directorio ***parser***
  - Representación gráfica
    - *dot –T**XXX** interpreter.dot –o interpreter.**XXX***
    - donde XXX puede ser:
      - ✓ svg, png, jpg, gif, pdf, ps, fig, …
    - Ejemplo
      - ✓ *dot –Tjpg interpreter.dot –o interpreter.jpg*
  - Fichero de texto y tabla LALR
    - *bison –v interterper.y*
    - Se genera el fichero *interpreter.output*

AUTÓMATA FINITO DETERMINISTA QUE RECONOCE LOS PREFIJOS VIABLES



Ejemplo 2. Análisis de un fichero pasado como argumento

- **NOVEDADES**
  - Se analiza un fichero de entrada pasado como argumento desde la línea de comandos

    $ ./interpreter.exe ./examples/test.txt

    …

  - Se muestra el nombre del programa en los mensajes de error:

    $ ./interpreter.exe

    afd

    ***Program**: ./interpreter.exe*

    Error line 1 --> Parsing error

    syntax error, unexpected $undefined, expecting $end or NUMBER or '\n' or '('

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.cpp

    ```
    int main(int argc, char *argv[])
    ...
    if (argc == 2)
        yyin = fopen(argv[1],"r");
    ```

  - error.cpp

    ```
    void warning(std::string errorMessage1,std::string errorMessage2)
    {
     /************************************************/
     /* NEW in example 2 */
     std::cerr << IGREEN;
     std::cerr << " Program: " << progname << std::endl;

    …
    ```

Ejemplo 3. Reconocimiento de operadores unarios

- **NOVEDADES**
  - Se permiten operadores unarios:
    - signo "+" unario
      - ✓ + 2
    - signo "-" unario
      - ✓ -2
  - Observación:
    - permite expresiones como
      - ✓ ++ 2
      - ✓ + - + 3
    - Curiosidad: el lenguaje C también lo permite.
  - Se utilizan identificadores para los componentes léxicos o tokens:
    - PLUS
    - MINUS
    - MULTIPLICATION
    - DIVISION
    - UNARY

$ ./interpreter.exe examples/test.txt
stmtlist --> epsilon
exp --> NUMBER
exp --> MINUS exp
stmtlist --> stmtlist exp NEWLINE
Correct expression

stmtlist --> stmtlist NEWLINE
exp --> NUMBER
exp --> PLUS exp
stmtlist --> stmtlist exp NEWLINE
Correct expression

stmtlist --> stmtlist NEWLINE
stmtlist --> stmtlist NEWLINE
exp --> NUMBER
exp --> PLUS exp
exp --> NUMBER
exp --> MINUS exp
exp --> NUMBER
exp --> exp PLUS exp
exp --> LPAREN exp RPAREN
exp --> exp MULTIPLICATION exp
stmtlist --> stmtlist exp NEWLINE
Correct expression

>>>>>>> End of file <<<<<<<
program --> stmtlist

- Se muestran los errores léxicos.

```
$ ./interpreter.exe examples/test-error.txt
stmtlist -->  epsilon
exp --> NUMBER
 Program: ./interpreter.exe
 Error line 1 --> Parsing error
        syntax error, unexpected MULTIPLICATION, expecting NUMBER
or PLUS or MINUS or LPAREN
stmtlist -->  stmtlist error NEWLINE
stmtlist -->  stmtlist NEWLINE
exp --> NUMBER
exp --> NUMBER
exp --> exp PLUS exp
stmtlist -->  stmtlist exp NEWLINE
Correct expression

stmtlist -->  stmtlist NEWLINE
 Program: ./interpreter.exe
 Error line 5 --> Lexical error
        dato
stmtlist -->  stmtlist NEWLINE
stmtlist -->  stmtlist NEWLINE
exp --> NUMBER
exp --> NUMBER
exp --> exp MULTIPLICATION exp
 Program: ./interpreter.exe
 Error line 7 --> Parsing error
        syntax error, unexpected RPAREN
stmtlist -->  stmtlist error NEWLINE
>>>>>>> End of file <<<<<<<
program --> stmtlist
```

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.l
    - En particular, se usa el estado de flex ERROR para controlar componentes léxicos no reconocidos (todavía), como los identificadores, etc.
  - interpreter.y
    - Reglas para los operadores unarios.

- **EJERCICIO**
  - Cambiar operadores aritméticos
    - + --> &
    - * --> #

Ejemplo 4. Evaluación de expresiones aritméticas

- **NOVEDADES**
  - Se evalúan las expresiones aritméticas compuestas por números y se muestra el resultado

    $./interpreter.exe
    2+3
    Result: 5
    *5*4*
    Result: 20
- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpeter.l

    {NUMBER1}|{NUMBER2} {
    / MODIFIED in example 4 */*
    / Conversion of type and sending of the numerical value to the parser */*
    yylval.number = atof(yytext);
    return NUMBER;
    }
  - interpeter.y
    - Tipo de dato de los valores de las expresiones

      / Data type YYSTYPE */*
      / NEW in example 4 */*
      %union
      {
      double number;
      }

      / Data type of the non-terminal symbol "exp" */*
      %type <number> exp

- **SIGNIFICADO DE NUEVOS TÉRMINOS**
  - ***yylval***
    - atributo de un componente léxico.
  - ***YYSTYPE***
    - tipo de dato del atributo
    - Véase el fichero ***interpreter.tab.h***
  - ***$$***
    - atributo del símbolo no terminal de la parte izquierda de la regla
  - ***$1***
    - atributo del primer símbolo de la parte derecha de la regla.
  - ***$2***
    - atributo del segundo símbolo de la parte derecha de la regla.
  - ***$n***
    - atributo del símbolo n-ésimo de la parte derecha de la regla.

Ejemplo 5. Separador de expresiones y nuevos operadores

- **NOVEDADES**
  - Se utiliza el símbolo ";" para separar expresiones

    *2+3; 4*5;*
    Result: 5
    Result: 20
  - Nuevos operadores
    - Resto de la división entera:

      8%3;
      Result: 2
    - Potencia (asociativa por la derecha)

      2^3;
      Result: 8
      2^3^2;
      Result: 512
      (2^3)^2;
      Result: 64
- **OBSERVACIÓN**
  - No se controla la división por cero del operador de división (/) ni del resto de la división entera (%)
    - Se controlará en el ejemplo 6

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.y
    - Definición de los componentes léxicos: *MODULO*, *POWER*
    - Asociatividad por la derecha
      - ✓ *%right POWER*
    - Regla para la división entera
      - ✓ conversión de tipo con (int)
    - Regla para la potencia
      - ✓ Uso de la función pow de math.h
  - interpreter.l
    - Token MODULO → %
    - Token POWER → ^
    - Token SEMICOLON → ;
    - Al reconocer "\n",
      - ✓ no se devuelve NEWLINE,
      - ✓ pero se incrementa el contador de líneas.
  - test.txt
  - test-error.txt

Ejemplo 6. Recuperación de errores de ejecución

- **NOVEDADES**
  - Se ha incluido un mecanismo para recuperarse de un error de ejecución:
    - Si hay un error de ejecución, el intérprete lo comunica pero no termina la ejecución.
    - Se controla la división por cero de los operadores de división y de resto de la división entera.

      8%0;

      Program: ./interpreter.exe

      Error line 1 --> Runtime error in modulo

      Division by zero

      3/0;

      Program: ./interpreter.exe

      Error line 2 --> Runtime error in division

      Division by zero

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.cpp

    ```
    // Use for recovery of runtime errors
    #include <setjmp.h>
    #include <signal.h>
    …
    /* Sets a viable state to continue after a runtime error */
    setjmp(begin);
    /* The name of the function to handle floating-point errors is set */
    signal(SIGFPE,fpecatch);
    ```

  - interpreter.y

    ```
    #include <setjmp.h>
    #include <signal.h>
    …
    jmp_buf begin; //!<  It enables recovery of runtime errors

     ….
    ```

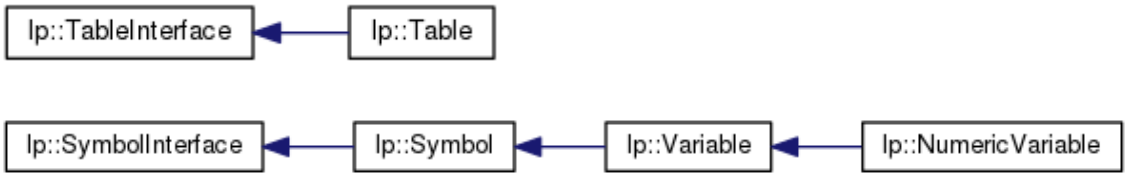
  - error.hpp
    - execerror
    - fpecatch
  - error.cpp
    - execerror
    - fpecatch

Ejemplo 7. Sentencia de asignación de variables

- **NOVEDADES**
  - Permite la creación de variables de tipo real y su uso en expresiones aritméticas

    a = 2;
    Result: 2
    a;
    Result: 2
    Uso
    *dato = 3 * a;*
    *dato = 2 * a;*
    Result: 4
    dato;
    Result: 4
  - Permite la asignación múltiple en una misma sentencia

    a = b = c = 7;
    Result: 7
    a; b; c;
    Result: 7
    Result: 7
    Result: 7
  - Nuevos tipos abstractos de datos
    - TableInterface
    - Table
    - SymbolInterface
    - Symbol
    - Variable
    - NumericVariable



- **OBSERVACIONES**
  - Una variable es un identificador que empieza por una letra y que pueda ir seguida de letras o dígitos.
  - Los identificadores se almacenan en una tabla de símbolos (map de STL) de variables numéricas o indefinidas.
  - Se controlan las variables no definidas.

    2+iva;
    Program: ./interpreter.exe
    Error line 1 --> The variable is UNDEFINED
    iva

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.y
  - interpreter.l
  - makefile principal
  - makefile del subdirectorio table
  - test.txt
  - test-error.txt
  - Doxyfile

    #Modified in example 7

    INPUT = interpreter.cpp parser error includes ***table***

- **FICHEROS NUEVOS**
  - tableInterface.hpp
    - Definición de la clase abstracta TableInterface
  - table.hpp
    - Definición de la clase Table
  - table.cpp
    - Código del resto de funciones de la clase Table
  - symbolInterface.hpp:
    - Definición de la clase abstracta SymbolInterface
  - symbol.hpp
    - Definición de la clase Symbol
  - symbol.cpp
    - Código del resto de funciones de la clase Symbol
  - variable.hpp
    - Definición de la clase Variable, que hereda de Symbol
  - variable.cpp
    - Código del resto de funciones de la clase Variable
  - numericVariable.hpp
    - Definición de la clase NumericVariable, que hereda de Variable
  - numericVariable.cpp
    - Código del resto de funciones de la clase NumericVariable

- **EJERCICIO**
  - Modifica el operador de asignación para que se pueda utilizar el operador de asignación de Pascal
    - *dato := 3;*

Ejemplo 8. Conflicto de desplazamiento-reducción

- **NOVEDADES**
  - Ejemplo de diseño de una gramática que genera un conflicto de desplazamiento reducción

    $ make
    Accessing directory parser
    make[1]: se entra en el directorio
    '… /ejemplo8/parser'
    Generando: interpreter.tab.c interpreter.tab.h
    interpreter.y: aviso: 1 conflicto desplazamiento/reducción [-Wconflicts-sr]
    - El conflicto será corregido en el ejemplo 9
  - La sentencia de asignación se puede generar de dos maneras:
    - Primera derivación
      - ✓ *program ➔ stmtlist*
        ➔ stmtlist asgn SEMICOLON
        ➔ stmtlist VARIABLE ASSIGNMENT exp SEMICOLON
        ➔ stmtlist VARIABLE ASSIGNMENT NUMBER SEMICOLON
        ➔ VARIABLE ASSIGNMENT NUMBER SEMICOLON
    - Segunda derivación
      - ✓ *program ➔ stmtlist*
        ➔ stmtlist exp SEMICOLON
        ➔ stmtlist asgn SEMICOLON
        ➔ stmtlist VARIABLE ASSIGNMENT exp SEMICOLON
        ➔ stmtlist VARIABLE ASSIGNMENT NUMBER SEMICOLON
        ➔ VARIABLE ASSIGNMENT NUMBER SEMICOLON

- **REVISIÓN DEL CONFLICTO**
  - Se genera el fichero interpreter.output para obtener información del conflicto

    $ bison -v interpreter.y
  - Fichero *interpreter.output*

    …
    Estado 11 conflictos: 1 desplazamiento/reducción
    …
    Estado 11
    4 stmtlist: stmtlist asgn . SEMICOLON
    18 exp: asgn .
    SEMICOLON desplazar e ir al estado 19
    SEMICOLON [reduce usando la regla 18 (exp)]
    $default reduce usando la regla 18 (exp)

- **FICHERO NUEVO**
  - *interpreter.output*
    - Fichero que describe la tabla LALR y el conflicto de desplazamiento - reducción
- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.y
    - Uso del no terminal asgn y de su regla

Ejemplo 9. Solución del conflicto de desplazamiento - reducción y uso de sentencias de lectura y escritura

- **NOVEDADES**
  - Se resuelve el problema del conflicto de desplazamiento – reducción del ejemplo 8.
    - Modificación de las reglas de *asgn* y *exp.*
  - El intérprete permite la lectura de variables y la escritura de los valores de las expresiones aritméticas
    - Sentencia *read*
    - Sentencia *print*
- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.l
    - Las palabras reservadas son reconocidas mediante reglas específicas.

      print {return PRINT;}

      read {return READ;}
  - interpreter.y
    - Nuevos tokens: PRINT, READ
    - Nuevos símbolos no terminales: print, read
    - Nuevas reglas

```
stmtlist:        /* empty: epsilon rule */
       | stmtlist stmt
       | stmtlist error
      ;
stmt:     SEMICOLON  /* Empty statement: ";" */
          | asgn SEMICOLON
          | print SEMICOLON
          | read SEMICOLON
          ;
 asgn:    VARIABLE ASSIGNMENT exp
          | VARIABLE ASSIGNMENT asgn
          ;
print:  PRINT exp
…
read:  READ LPAREN VARIABLE RPAREN
```

    - Se ha eliminado la regla

```
exp: ...
     | asgn
      ...
```

- **EJERCICIOS**
  - Definición regular para no distinguir mayúsculas de minúsculas en *print*
    - *(?i:print) {return PRINT;}*
  - No distinguir mayúsculas de minúsculas en los identificadores

```
for (int i = 0; yytext[i] != '\0'; i++)
{
        yytext[i] = toupper(yytext[i]);
}
```

Ejemplo 10. Constantes predefinidas que se pueden modificar

- **NOVEDADES**
  - El intérprete permite el uso de constantes predefinidas
    - "PI", 3.14159265358979323846
      - ✓ $\pi = \frac{circunferencia}{diámetro}$
    - "E", 2.71828182845904523536
      - ✓ Base natural
      - ✓ $e = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \cdots$
    - "GAMMA", 0.57721566490153286060
      - ✓ Constante de Euler-Mascheroni
      - ✓ $\gamma = \lim_{n\to\infty} \left(-\ln(n) + \sum_{k=1}^{n} \frac{1}{k} \right)$
    - "DEG", 57.29577951308232087680
      - ✓ Grado por radián
      - ✓ $180/\pi$
    - "PHI", 1.61803398874989484820
      - ✓ Proporción áurea
      - ✓ $\varphi = \frac{\sqrt{5}+1}{2}$

- **OBSERVACIÓN**
  - Se puede cambiar el valor de una constante predefinida:
    PI = 3.14
    PI = 0.0
  - El ejemplo 11 evitará modificar las constantes predefinidas.

- **FICHEROS NUEVOS**
  - init.hpp:
    - Definición de las constantes predefinidas
    - Prototipo de la función *init*
  - init.cpp:
    - Código de la función init que inicializa la tabla de símbolos con las constantes predefinidas.

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.cpp
    - Llamada a *init(table)*, que inicializa la tabla de símbolos con las constantes predefinidas.
  - interpreter.y
    - Inclusión del fichero de cabecera
      #include "../table/init.hpp"
  - makefile del subdirectorio table
    - Compilación de los ficheros init.cpp e init.hpp

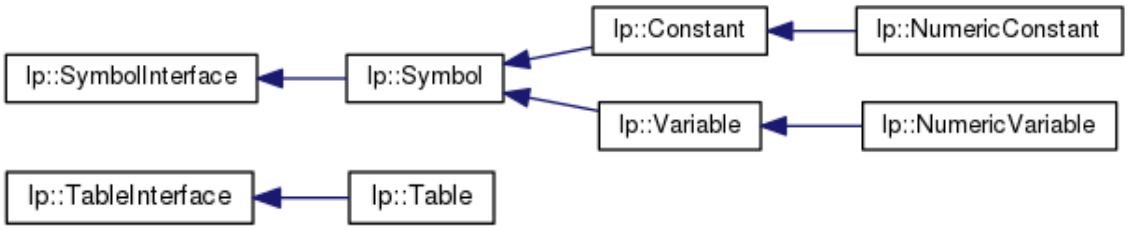
Ejemplo 11.- Constantes numéricas predefinidas que no se pueden modificar.

- **NOVEDADES**
  - Las constantes predefinidas no se puede modificar en las sentencias de asignación o lectura.

PI = 7;
Program: ./interpreter.exe
Error line 3 --> Semantic error in assignment: it is not allowed to modify a constant
PI
read(PI);
Program: ./interpreter.exe
Error line 4 --> Semantic error in "read statement": it is not allowed to modify a constant
PI

  - Nuevo tipo de dato:
    - Contante numérica
  - Se utilizan reglas gramaticales para controlar los errores.

- **FICHEROS NUEVOS**
  - constant.hpp:
    - Definición de la clase *Constant*, que hereda de *Symbol*.
  - constant.cpp:
    - Código del resto de funciones de la clase *Constant*.
  - numericConstant.hpp
    - Definición de la clase *NumericConstant*, que hereda de *Constant*.
  - numericConstant.cpp
    - Código del resto de funciones de la clase *NumericConstant*.



- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.l
    - Si un identificador está instalado en la tabla de símbolos, se devuelve su token o componente léxico: VARIABLE o CONSTANT
  - interpreter.y
    - Reglas gramaticales de control de errores

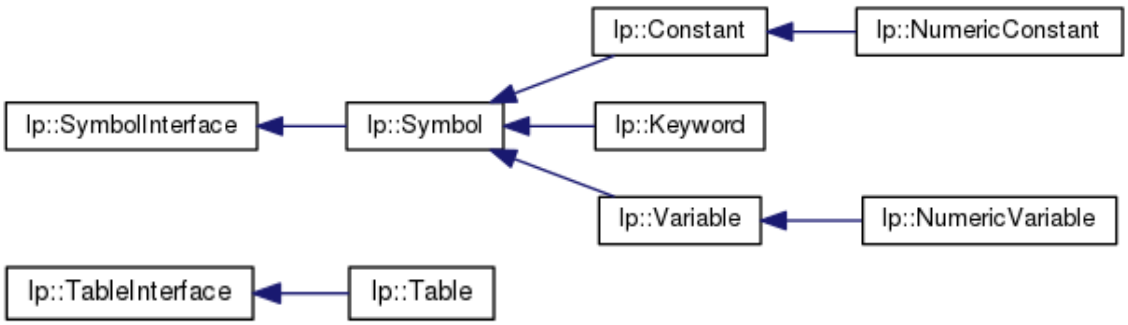
asgn: …
| CONSTANT ASSIGNMENT exp
| CONSTANT ASSIGNMENT asgn
…
read: …

| READ LPAREN CONSTANT RPAREN

- init.cpp
  - Se instalan las constantes predefinidas en la tabla de símbolos
    - ✓ con el token CONSTANT
    - ✓ y el tipo NUMBER
- makefile del subdirectorio table
  - Compilación de los nuevos ficheros
    - ✓ constant.hpp
    - ✓ constant.cpp
    - ✓ numericConstant.hpp
    - ✓ numericConstant.cpp

Ejemplo 12. Palabras claves pre-instaladas en la tabla de símbolos

- **NOVEDADES**
  - Las palabras claves son preinstaladas en la tabla de símbolos
  - Nuevo tipo de dato:
    - Keyword: Palabra clave



- **FICHEROS NUEVOS**
  - keyword.hpp
    - Definición de la clase *Keyword*, que hereda de *Symbol*
  - keyword.cpp
    - Código del resto de funciones de la clase *Keyword*

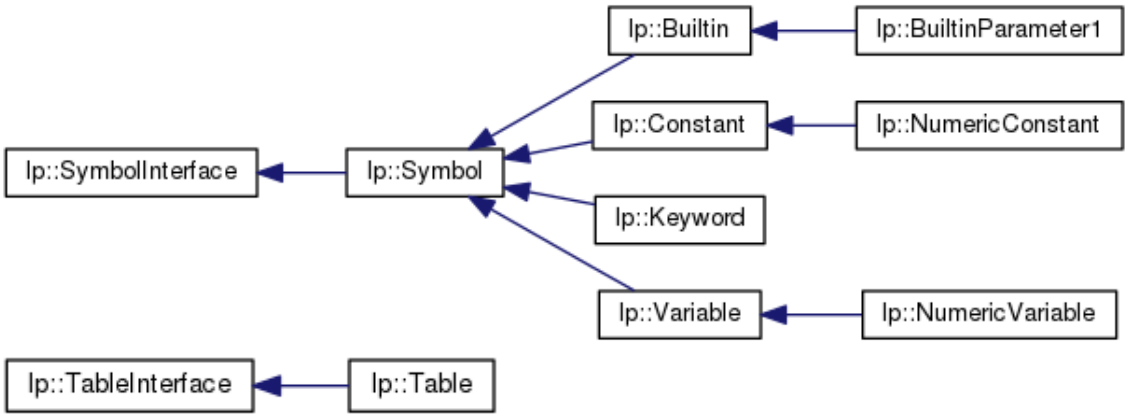
- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.l:
    - Las reglas de PRINT y READ se han eliminado porque son preinstaladas en la tabla de símbolos
  - init.hpp
    - Definición de las palabras claves
  - init.cpp
    - Instalación de las palabras claves en la tabla de símbolos.
  - makefile del subidrectorio table
    - Compilación de los nuevos ficheros
      - ✓ keyword.hpp
      - ✓ keyword.cpp

Ejemplo 13. Funciones matemáticas predefinidas con un argumento

- **NOVEDADES**
  - El intérprete permite el uso de funciones matemáticas predefinidas con un argumento
    - **s**in, cos, atan, log, log10, exp, sqrt, int, abs
    - Ejemplo

      print sin(PI/2);

      Print: 1
  - Nuevo tipos abstractos de datos:
    - Función predefinida: *Builtin*
    - Función predefinida con un argumento: *BuiltinParameter1*
  - Función *errcheck* para comprobar si una función matemática genera algún error en su dominio o rango



- **FICHEROS NUEVOS**
  - mathFunction.hpp
    - Prototipo de las funciones matemáticas predefinidas
  - mathFunction.cpp
    - Código de las funciones matemáticas predefinidas
  - builtin.hpp:
    - Definición de la clase *Builtin*
  - builtin.cpp:
    - Código de la clase *Builtin*
  - builtinParameter1.hpp:
    - Definición de la clase *BuiltinParameter1*
  - builtinParameter1.cpp
    - Código de la clase *BuiltinParameter1*

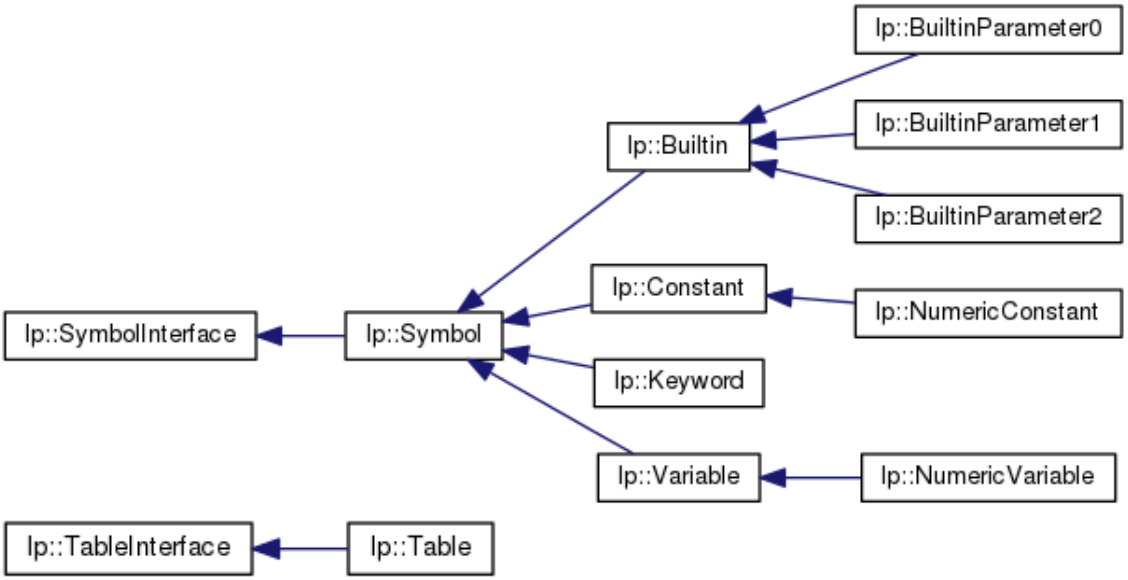
- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.y
    - Regla para el uso de funciones matemáticas con un argumento
  - error.hpp:
    - Prototipo de la nueva función *errcheck*
  - error.cpp

        - Código de la nueva función *errcheck*
    - init.hpp
        - Definición de las funciones matemáticas predefinidas y con un argumento
    - init.cpp
        - Instalación de las funciones matemáticas predefinidas y con un argumento
    - makefile el subdirectorio table
        - Compilación de los nuevos ficheros
            - ✓ mathFunction.hpp
            - ✓ mathFunction.cpp
            - ✓ builtin.hpp
            - ✓ builtin.cpp
            - ✓ builtinParameter1.hpp
            - ✓ builtinParameter1.cpp
    - test.txt
        - Nuevos ejemplos
    - test-error.txt
        - Nuevos ejemplos con errores

- **EJERCICIO**
    - Poner la funciones predefinidas en castellano:
        - seno, coseno, atan, log, log10, exp, raiz, entero, abs.

Ejemplo 14.- Funciones predefinidas con cero o dos argumentos

- **NOVEDADES**
  - El intérprete permite el uso de funciones matemáticas predefinidas con cero, o dos argumentos
    - Función predefinida con cero argumentos
      - ✓ random()
    - Función predefinida con dos argumentos:
      - ✓ atan2(x,y)
  - Nuevo tipos abstractos de datos:
    - Función predefinida con cero argumentos: *BuiltinParameter0*
    - Función predefinida con dos argumentos: *BuiltinParameter2*



- **FICHEROS NUEVOS**
  - builtinParameter0.hpp:
    - Definición de la clase *BuiltinParameter0*
  - builtinParameter0.cpp
    - Código de la clase *BuiltinParameter0*
  - builtinParameter2.hpp:
    - Definición de la clase *BuiltinParameter2*
  - builtinParameter2.cpp
    - Código de la clase *BuiltinParameter2*

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - Interpreter.cpp
    - #include <list>
  - mathFunction.hpp
    - Prototipo de las funciones matemáticas predefinidas con cero o dos argumentos
  - mathFunction.cpp
    - Código de las funciones matemáticas predefinidas con cero o dos argumentos
  - Interpreter.l

#include <list>

- Reconocimiento de COMMA

- interpreter.y
  - Actualización de YYSTYPE

    %union {
    double number;
    *char * identifier;*
    *std::list<double> *parameters;*
    }
  - Definición del token COMMA

    %nonassoc COMMA
  - Tipo de nuevos símbolos no terminales

    %type <parameters> listOfExp restOfListOfExp
  - Reglas para el uso de funciones matemáticas con cualquier número de argumentos o parámetros

    exp:

    …
    | BUILTIN LPAREN listOfExp RPAREN

    ;

    listOfExp:

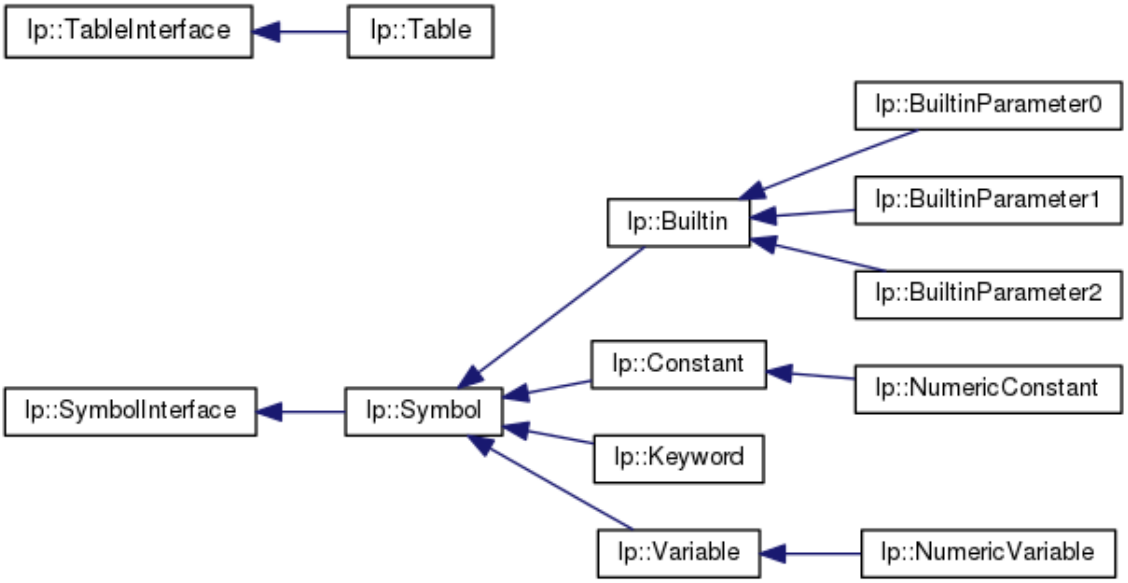
    / Empty list of numeric expressions */*
    | exp restOfListOfExp
    ;

    restOfListOfExp:

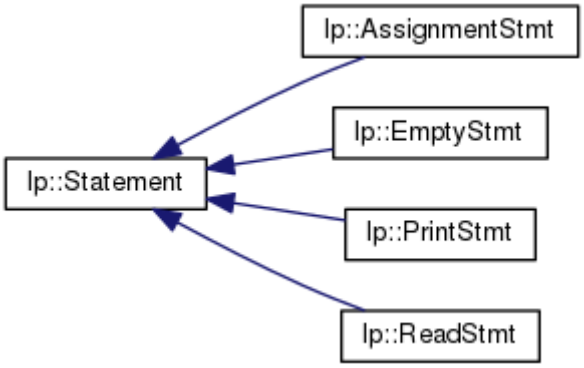
    / Empty list of numeric expressions */*
    | ***COMMA*** *exp restOfListOfExp*
    ;
- init.hpp
  - Definición de las funciones matemáticas predefinidas y con cero o dos argumentos
- init.cpp
  - #include <list>
  - Instalación de las funciones matemáticas predefinidas y con cero o dos argumentos
- makefile del subdirectorio table
  - Compilación de los nuevos ficheros
    - ✓ builtinParameter0.hpp
    - ✓ builtinParameter0.cpp
    - ✓ builtinParameter2.hpp
    - ✓ builtinParameter2.cpp
- test.txt
  - Nuevos ejemplos
- test-error.txt
  - Nuevos ejemplos con errores

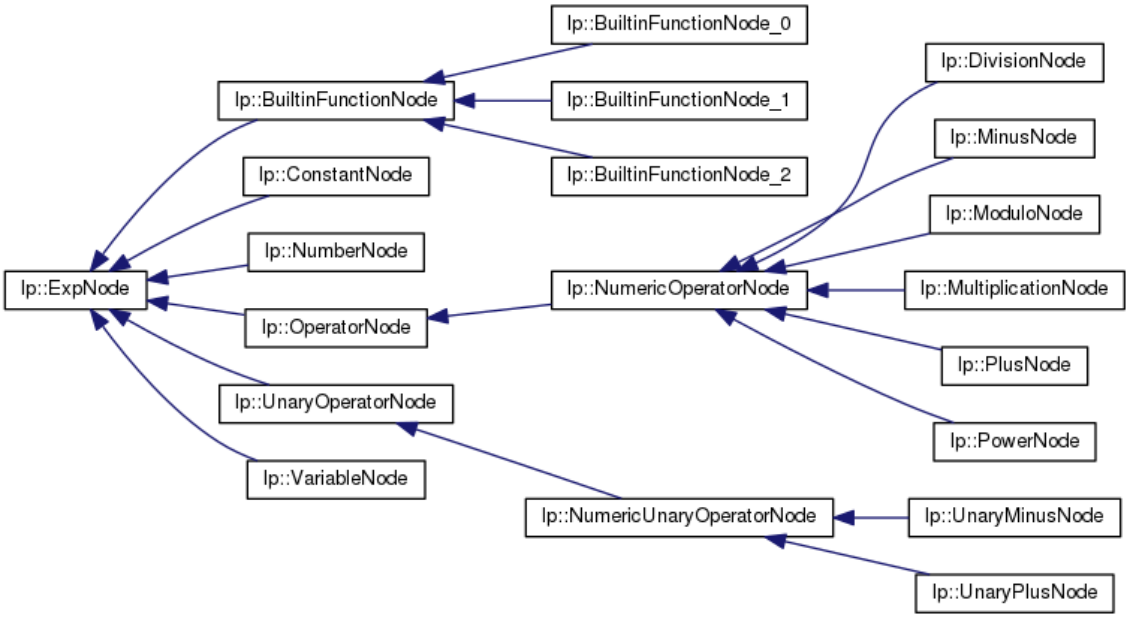
Ejemplo 15. Uso de AST para la generación de código intermedio

- **NOVEDADES**
  - Uso de los árboles de sintaxis abstracta (AST) para generar código intermedio que es posteriormente evaluado.
    - Se controla el modo de ejecución del intérprete usando la variable *interactiveMode*
  - Nuevos tipos abstractos de datos
    - *AST*
    - *Statement*
      - ✓ *AssigmentStmt*
      - ✓ *EmptyStmt*
      - ✓ *PrintStmt*
      - ✓ *ReadStmt*
    - *ExpNode*
      - ✓ *BuiltinFunctionNode*
        - – *BuiltinFunctionNode_1*
        - – *BuiltinFunctionNode_0*
        - – *BuiltinFunctionNode_2*
      - ✓ *NumberNode*
      - ✓ *NumericConstantNode*
      - ✓ *NumericVariableNode*
      - ✓ *OperatorNode*
        - – *NumericOperatorNode*
          - *PlusNode*
          - *MinusNode*
          - *MultiplicationNode*
          - *DivisionNode*
          - *ModuloNode*
          - *PowerNode*
      - ✓ *UnaryOperatorNode*
        - – *NumericUnaryOperatorNode*
          - *UnaryMinusNode*
          - *UnaryPlusNode*


lp::TableInterface
lp::Table
lp::BuiltinParameter0
lp::BuiltinParameter1
lp::BuiltinParameter2
lp::Builtin
lp::Constant
lp::NumericConstant
lp::SymbolInterface
lp::Symbol
lp::Keyword
lp::Variable
lp::NumericVariable

lp::AST


lp::AssignmentStmt
lp::EmptyStmt
lp::Statement
lp::PrintStmt
lp::ReadStmt


lp::BuiltinFunctionNode_0
lp::DivisionNode
lp::BuiltinFunctionNode
lp::BuiltinFunctionNode_1
lp::MinusNode
lp::ConstantNode
lp::BuiltinFunctionNode_2
lp::ModuloNode
lp::NumberNode
lp::ExpNode
lp::NumericOperatorNode
lp::MultiplicationNode
lp::OperatorNode
lp::PlusNode
lp::UnaryOperatorNode
lp::PowerNode
lp::VariableNode
lp::NumericUnaryOperatorNode
lp::UnaryMinusNode
lp::UnaryPlusNode

- **FICHEROS NUEVOS**
  - ast.hpp
    - Definición de los tipos abstractos de datos de AST
  - ast.cpp
    - Código de los tipos abstractos de datos de AST

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.cpp
    - Declaración de la variable de control de ejecución
      - ✓ bool interactiveMode;
    - Inclusión de “ast.hpp”
    - Declaración de la raíz del árbol de sintaxis abstracta
      - ✓ lp::AST *root; //!< Root of the abstract syntax tree AST
    - Evaluación del AST
      - ✓ root->evaluate();
  - interpreter.l
    - Inclusión de “ast.hpp”
  - interpreter.y
    - Inclusión de “ast.hpp”
    - Referencia a la declaración de la variable de control de ejecución
      - ✓ extern bool interactiveMode;
    - Modificación de ***YYSTYPE***

```
/* Data type YYSTYPE  */
/* NEW in example 4 */
%union {
  double number;
  char * identifier;              /* NEW in example 7 */
  lp::ExpNode *expNode;           /* NEW in example 16 */
  std::list<lp::Statement *> *stmts; /* NEW in example 16 */
  lp::Statement *st;              /* NEW in example 16 */
  lp::AST *prog;                  /* NEW in example 16 */
}
```

  - init.hpp
    - Inclusión de “ast.hpp”
  - Makefile
    - Compilación de los nuevos ficheros
      - ✓ ast.hpp
      - ✓ ast.cpp
  - Doxyfile
    - #Modified in examples 7, 16
    - INPUT = interpreter.cpp parser error includes table ast
  - text.txt
  - text-error.txt

Ejemplo 16.- Constantes y variables lógicas, operadores relacionales y lógicos

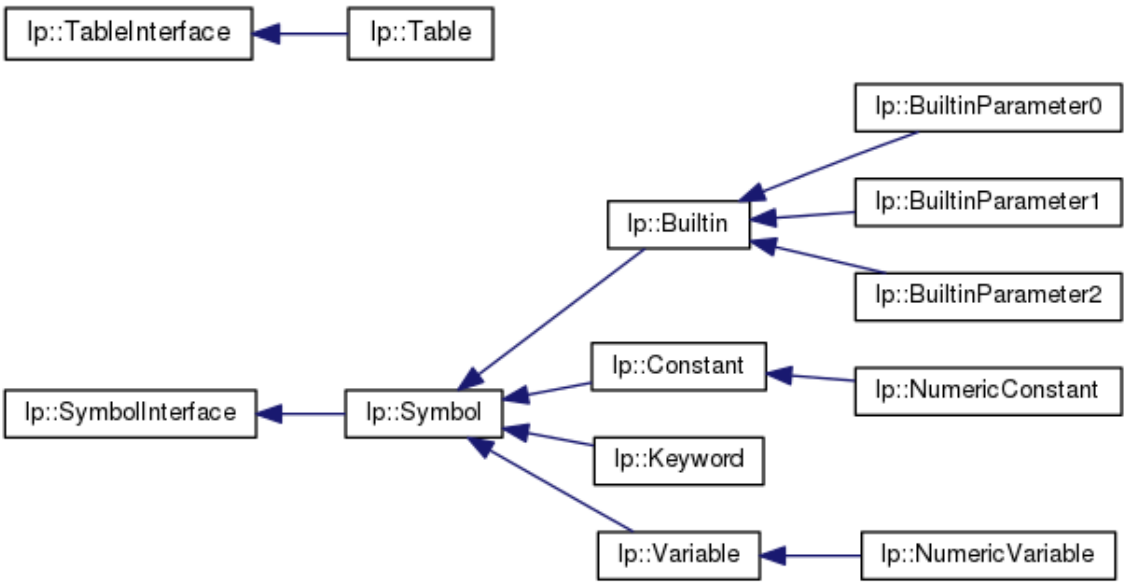
- **NOVEDADES**
  - Conversión dinámica del tipo de variable
    - Una variable puede ser de tipo numérico y luego de tipo lógico y viceversa

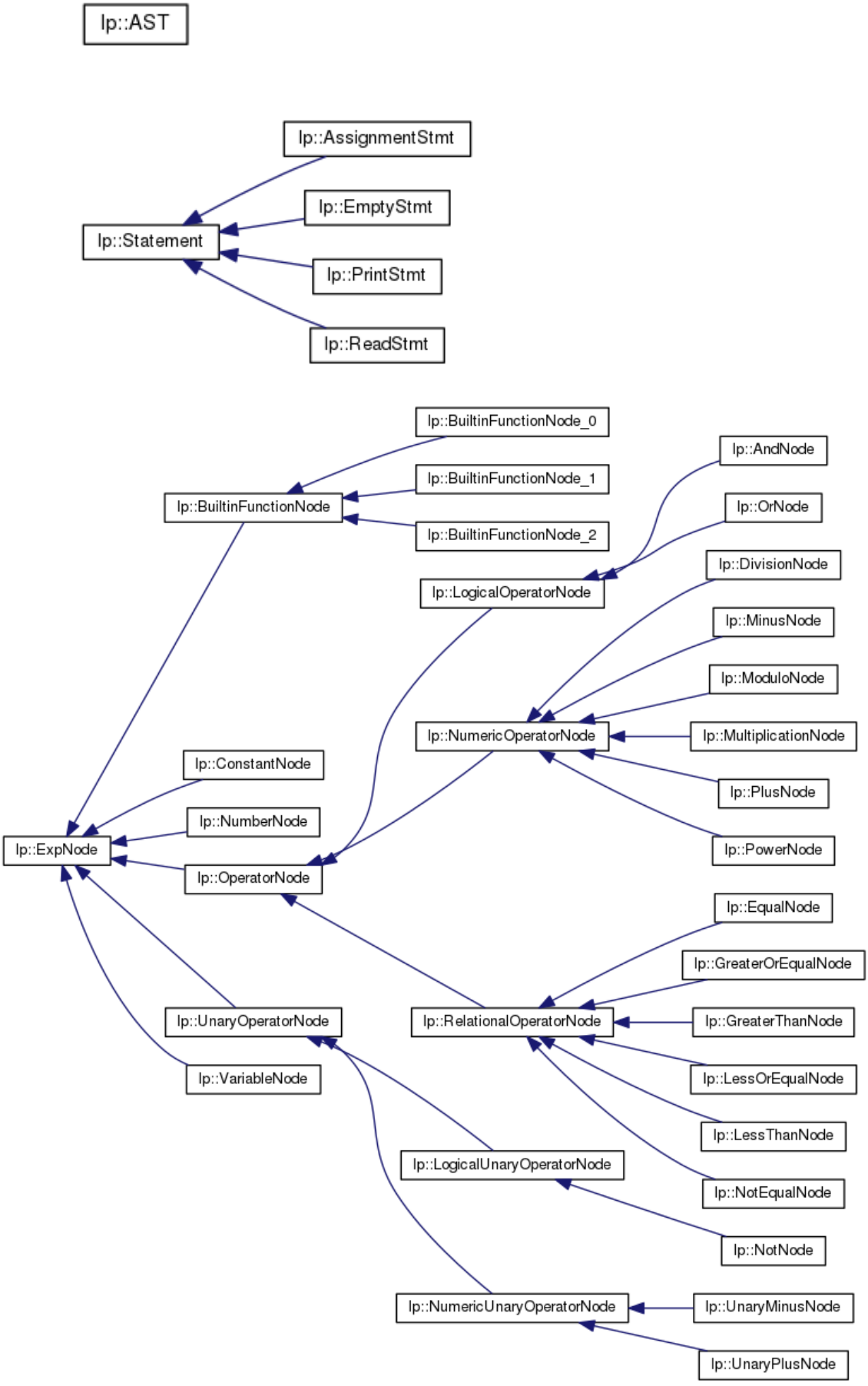
      dato = 2;
      print dato;
      Print: 2

      dato = 3>0;
      print dato;
      Print: true

      dato = 3;
      print dato;
      Print: 3
  - El intérprete permite el uso de
    - Constantes lógicas
      - ✓ true
      - ✓ false
    - Variables con valores lógicos
    - operadores relacionales
      - ✓ igualdad: ==
      - ✓ desigualdad: !=
      - ✓ menor que: <
      - ✓ menor o igual que: <=
      - ✓ mayor que: >
      - ✓ mayor o igual que: >
    - operadores lógicos
      - ✓ conjunción lógica: &&
      - ✓ disyunción lógica: ||
      - ✓ negación lógica: not
  - Nuevos tipos abstractos de datos
    - *AST*
    - *Statement*
      - ✓ *AssigmentStmt*
      - ✓ *EmptyStmt*
      - ✓ *PrintStmt*
      - ✓ *ReadStmt*
    - *ExpNode*
      - ✓ *BuiltinFunctionNode*
        - *BuiltinFunctionNode_1*
        - *BuiltinFunctionNode_0*
        - *BuiltinFunctionNode_2*
      - ✓ *NumberNode*

- ✓ *NumericConstantNode*
- ✓ *NumericVariableNode*
- ✓ *OperatorNode*
  - *NumericOperatorNode*
    - *PlusNode*
    - *MinusNode*
    - *MultiplicationNode*
    - *DivisionNode*
    - *ModuloNode*
    - *PowerNode*
  - *RelationalOperatorNode*
    - *EqualNode*
    - *NotEqualNode*
    - *GreaterThanNode*
    - *GreaterOrEqualNode*
    - *LessThanNode*
    - *LessOrEqualNode*
  - *LogicalOperatorNode*
    - *AndNode*
    - *OrNode*
- ✓ *UnaryOperatorNode*
  - *NumericUnaryOperatorNode*
    - *UnaryMinusNode*
    - *UnaryPlusNode*
  - *LogicalUnaryOperatorNode*
    - *NotNode*




lp::AST
lp::AssignmentStmt
lp::EmptyStmt
lp::Statement
lp::PrintStmt
lp::ReadStmt
lp::BuiltinFunctionNode_0
lp::BuiltinFunctionNode_1
lp::BuiltinFunctionNode
lp::BuiltinFunctionNode_2
lp::AndNode
lp::OrNode
lp::LogicalOperatorNode
lp::DivisionNode
lp::MinusNode
lp::ModuloNode
lp::NumericOperatorNode
lp::MultiplicationNode
lp::ConstantNode
lp::PlusNode
lp::NumberNode
lp::ExpNode
lp::PowerNode
lp::OperatorNode
lp::EqualNode
lp::GreaterOrEqualNode
lp::UnaryOperatorNode
lp::RelationalOperatorNode
lp::GreaterThanNode
lp::VariableNode
lp::LessOrEqualNode
lp::LessThanNode
lp::LogicalUnaryOperatorNode
lp::NotEqualNode
lp::NotNode
lp::NumericUnaryOperatorNode
lp::UnaryMinusNode
lp::UnaryPlusNode

- **FICHEROS NUEVOS**
  - table
    - *logicalConstant.hpp*
    - *logicalVariable.cpp*
    - *logicalVariable.hpp*
    - *logicalConstant.cpp*
  - Nuevos ficheros de test
    - test2.txt, test3.txt
    - test-error2.txt

- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.l
    - Reglas léxicas para reconocer los operadores relacionales y lógicos
  - interpreter.y
    - Reglas sintácticas para reconocer las sentencias con operadores relacionales o lógicos.
  - ast.hpp
    - Definición de los nuevos tipos abstractos de datos de AST
  - ast.cpp
    - Código de los nuevos tipos abstractos de datos de AST
  - test.txt, test2.txt, test3.txt
    - Nuevos ejemplos
  - test-error.txt, test-error2.txt
    - Nuevos ejemplos con errores
  - Makefile
    - Compilación de los nuevos ficheros.

- **EJERCICIO**
  - Cambiar las constantes lógicas true y false por verdadero y falso.

Ejemplo 17.- Sentencias de control de flujo y conflicto del "else danzante"

- **NOVEDADES**
  - El intérprete permite el uso de sentencias de control de flujo
    - Sentencia condicional: if
    - Sentencia iterativa: while
  - Se presenta un conflicto de desplazamiento – reducción provocado por la alternativa "else"
    - Fichero interpreter.output, generado con bison –v interpreter.y

      Estado 62 conflictos: 1 desplazamiento/reducción

      …

      Estado 62

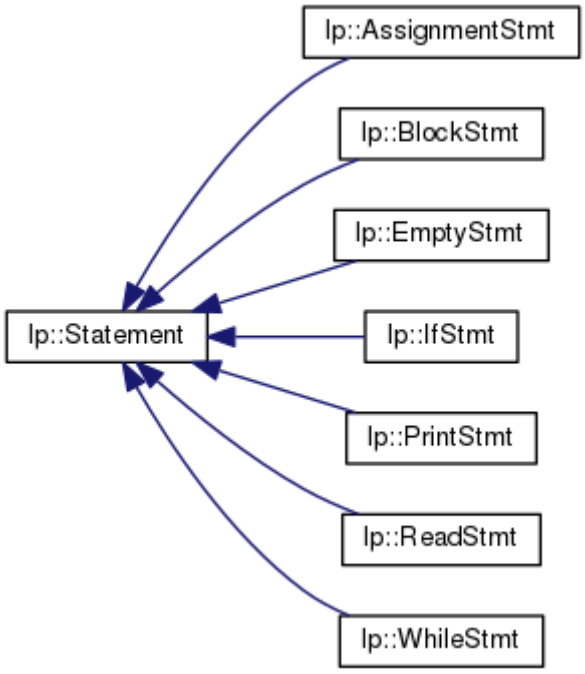
      13 if: IF cond stmt .

      14 | IF cond stmt . ELSE stmt

      ELSE desplazar e ir al estado 90

      ELSE [reduce usando la regla 13 (if)]

      $default reduce usando la regla 13 (if)
  - Nuevos tipos abstractos de datos
    - *BlockStmt*
    - *IfStmt*
    - *WhileStmt*



- **FICHEROS MODIFICADOS**
  - interpreter.l
    - Reconocimiento de los caracteres "{" y "}"

      "{" { return LETFCURLYBRACKET; } / NEW in example 17 */*

      "}" { return RIGHTCURLYBRACKET; } / NEW in example 17 */*
  - interpreter.y

- Tipo de los nuevos símbolos no terminales
  \/ Type of the non-terminal symbols */*
  // New in example 17: cond
  %type <expNode> exp cond
  %type <stmts> stmtlist
  // New in example 17: if, while, block
  %type <st> stmt asgn print read if while block
- Símbolos no terminales y reglas gramaticales
  - ✓ *controlSymbol: permitirá que las sentencias "if" y "while" se ejecuten de forma correcta en el modo interactivo.*
  - ✓ *if*
  - ✓ *while*
  - ✓ *block*
  - ✓ *cond*

- init.hpp
  - Inclusión *if*, *else* y *while* en el grupo de palabras reservadas:

```
static struct {
        std::string name ;
        int token;
    } keywords[] = {
        "print",  PRINT,
        "read",  READ,
        "if",     IF,        // NEW in example 17
        "else",   ELSE,      // NEW in example 17
        "while",  WHILE,     // NEW in example 17
        "",     0
        };
```

- init.cpp
  - Inclusión de "ast.hpp"
    // NEW in example 17
    // This file must be before interpreter.tab.h
    #include "../ast/ast.hpp"
  - Uso de la variable control para que las sentencias "if" y "while" se pueda ejecutar de forma correcta en modo interactivo.
- ast.hpp
  - Definición de las nuevas clases
    - ✓ *IfStmt*
    - ✓ *WhileStmt*
    - ✓ *BlockStmt*
- ast.cpp
  - Código de las nuevas clases
- text.txt
  - Nuevos ejemplos
- text-error.txt
  - Nuevos ejemplos con errores