

# PROCESADORES DEL LENGUAJE

Práctica Final: Frontend y Backend



**Grupo:** 113-leal-zhu  
**ID de grupo de prácticas:** 81

**Nombre de los participantes:**

Liang Ji Zhu

Ignacio Leal Sánchez

**Correos electrónicos de los participantes:**

100495723@alumnos.uc3m.es

100495680@alumnos.uc3m.es

Madrid, 9 de mayo de 2025

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Transparencia</b>	<b>3</b>
<b>3. Traducción Frontend</b>	<b>3</b>
3.1. Variables globales . . . . .	3
3.2. Función main y funciones genéricas . . . . .	4
3.3. Estructuras de Control . . . . .	5
3.4. Impresión de cadenas . . . . .	6
3.5. Operadores, precedencia y asociatividad . . . . .	6
<b>4. Traducción Backend</b>	<b>9</b>
4.1. Variables globales . . . . .	9
4.2. Función main y funciones genéricas . . . . .	9
4.3. Impresión de cadenas . . . . .	10
4.4. Operadores, precedencia y asociatividad . . . . .	10
4.5. Estructuras de Control . . . . .	11
<b>5. Pruebas</b>	<b>12</b>
5.1. Variables globales . . . . .	12
5.2. Función main . . . . .	13
5.3. puts . . . . .	13
5.4. print simple . . . . .	14
5.5. operadores . . . . .	15
5.6. while . . . . .	16
5.7. if-else-then . . . . .	16
5.8. for . . . . .	18
5.9. Funciones (Lisp) . . . . .	19
5.10. Variables locales (Lisp) . . . . .	20
5.11. Vectores (Lisp) . . . . .	20

# 1. Introducción

La presente memoria documenta el desarrollo integral de un traductor frontend y un traductor backend. El trabajo plantea la construcción de éstas en dos fases:

- Frontend: traduce el lenguaje C, de notación infija, a código Lisp, de notación prefija.
- Backend: convierte dicho código Lisp a notación postfija, Forth, siguiendo la filosofía de máquina de pila integrada en gforth.

Se siguió un ciclo incremental para la realización del proyecto, en cada iteración se añadió una nueva producción. Esta estrategia permitió aislar errores tempranos y dosificar la complejidad, ya que los apartados iniciales eran más asequibles y los últimos exigían mayor autonomía y un diseño gramatical más depurado.

Se puede apreciar 3 etapas de implementación aproximadas:

- Etapa 1: se implementaron las declaraciones básicas, la función `main` y las primeras sentencias de E/S (`puts`, `printf`).
- Etapa 2: se integraron operadores con su precedencia y las estructuras de control `while` e `if/else`.
- Etapa 3: se añadieron funciones con retorno estructurado y vectores.
- Etapa 4: desarrollo del backend y pruebas funcionales con la directiva `//@ (main)`, completando el flujo  $C \rightarrow \text{Lisp} \rightarrow \text{Forth}$ .

El analizador léxico se mantuvo sin modificaciones; toda la lógica nueva se centró en la gramática y las acciones semánticas, añadiendo los tokens necesarios.

Cada incremento semanal concluyó con una regresión completa sobre el conjunto de casos de prueba —tanto los oficiales como los diseñados ad-hoc— y con la documentación de las decisiones en esta memoria. Así, el resultado final es un traductor robusto cuya construcción refleja paso a paso la ruta marcada por las pautas del enunciado, desde las bases del frontend hasta los detalles finales del backend.

## 2. Transparencia

En este apartado constatamos que el uso de la IA generativa ha sido utilizado para la corrección de errores en las declaraciones de C, aunque ha sido intercalado con la asistencia de los profesores que proponen respuestas más coherentes y simples. Y ha sido imposible usar la inteligencia artificial en más partes del trabajo debido a su incapacidad para comprender los requisitos específicos del problema, y por ello dando respuestas de nula utilidad.

Asimismo, hacemos constar que la carga de trabajo se ha repartido de forma justa entre los dos. A lo largo de todo el período —y, muy especialmente, durante la fase final— la dedicación fue dinámica: cada miembro asumió más tareas cuando su disponibilidad lo permitía y cedió responsabilidad cuando sus circunstancias lo exigían, garantizando en todo momento un equilibrio global.

## 3. Traducción Frontend

### 3.1. Variables globales

Las variables se declaran como enteros o como arrays en los que se puede dar valor o no, en este caso se usará el valor 0 para la traducción a lisp. Se permite que se declaren múltiples variables en línea separadas con ",." en cascada.

```
1 axioma:                var_global funcion
2                        r_axioma
3                        ;
4 r_axioma:
5                        |    axioma
6                        ;
7
8 var_global:            declaracion ';' var_global
9                        |
10                       ;
11
12 declaracion:           INTEGER IDENTIF valor_global
13       r_declaracion
14                       | INTEGER IDENTIF '[' NUMBER ']'
15                       |    r_declaracion
16                       ;
17
18 valor_global:
```

```

17 | '=' NUMBER
18 |
19 r_declaracion: ',' IDENTIF valor_global
   r_declaracion
20 | ',' IDENTIF '[' NUMBER ']'
   r_declaracion
21 |
22 ;

```

### 3.2. Función main y funciones genéricas

Se definen las funciones de dos maneras: las funciones genéricas y el main. El main es una función diferente ya que es obligatorio que exista esta función. También permitimos la declaración de variables locales que serán la variable seguida del nombre de la función en la que es variable local.

```

1 funcion: IDENTIF '(' argumento ')' '{'
   var_local cuerpo '}' funcion
2 | funcion_principal
3 |
4 ;
5 funcion_principal: MAIN '(' argumento ')' '{' var_local
   cuerpo '}'
6 |
7 ;
8 argumento: INTEGER valor resto_argumento
9 | valor resto_argumento
10 |
11 ;
12
13 valor: STRING
14 | expresion
15 |
16 ;
17 resto_argumento: ',' argumento
18 |
19 ;
20
21
22 var_local: declaracion_local ';' var_local
23 |
24 ;
25

```

```

26 declaracion_local:  INTEGER  IDENTIF valor_local
    r_decl_local
27                    | INTEGER  IDENTIF '[' NUMBER ']'
    r_decl_local
28                    ;
29
30 valor_local:        /* lambda */
31                    | '=' NUMBER
32                    ;
33 r_decl_local:       ', ' IDENTIF valor_local r_decl_local
34                    | ', ' IDENTIF '[' NUMBER ']'
    r_decl_local
35                    |
36                    ;

```

### 3.3. Estructuras de Control

Las estructuras de control se encuentran dentro del cuerpo de una función y no acaban en ";". Estas son el if, for y while. Cuentan con una estructura de cuerpo diferente ya que un return de alguna de estas estructuras se interpreta diferente ya que no es un return al final de la función.

```

1 cuerpo:             sentencia ';' cuerpo
2                    | sentencia ';'
3                    | estructura cuerpo
4                    | estructura
5                    | RETURN expresion ';'
6                    ;
7 estructura:         WHILE '(' expresion ')' '{'
    cuerpo_estructura '}'
8                    | IF '(' expresion ')' '{'
    cuerpo_estructura '}'
9                    | IF '(' expresion ')' '{'
    cuerpo_estructura '}' ELSE '{'
    cuerpo_estructura '}'
10                   | FOR '(' declaracion_for ';'
    expresion ';' asignacion ')' '{'
    cuerpo_estructura '}'
11                   ;
12
13 declaracion_for:    INTEGER  IDENTIF valor_for
    r_declaracion_for

```

```

14          | IDENTIF valor_for
          | r_declaracion_for
15          ;
16 valor_for:
17          | '=' NUMBER
18          ;
19 r_declaracion_for:      ',' IDENTIF valor_for
          | r_declaracion_for
20          |
21          ;
22 cuerpo_estructura: sentencia ';'
23          | estructura
24          | sentencia ';' cuerpo_estructura
25          | estructura cuerpo_estructura
26          | RETURN expresion ';'
27          ;

```

### 3.4. Impresión de cadenas

La impresión de cadenas de texto se hace imprimiendo o un string o una variable. No existe la forma de impresión formateada como en C. Por ello cualquier impresión de variables en C se traducirá a la impresión de variables individuales en Lisp.

```

1 sentencia:      asignacion
2          | '@' expresion
3          | PUTS '(' STRING ') '
4          | PRINTF printf
5          | llamada
6          ;
7 printf:         '(' STRING r_printf ') '
8          ;
9 r_printf:       ',' expresion r_printf
10          | ',' STRING r_printf
11          |
12          ;

```

### 3.5. Operadores, precedencia y asociatividad

Aquí hemos cambiado la forma de operar respecto a la versión anterior. Para garantizar la mejor precedencia sin ninguna posibilidad de errores hemos divi-

dido las diferentes operaciones o comparaciones en No Terminales específicos de forma que la precedencia pueda ser cumplida en todo momento.

```

1 /* ==== Operadores, precedencia y asociatividad ==== */
2 asignacion:      IDENTIF '=' expresion
3                  | vector '=' expresion
4                  ;
5
6 expresion:       logical_or
7                  ;
8
9 llamada:         IDENTIF '(' argumento ')'
10                 ;
11
12 logical_or:      logical_and
13                  | logical_or OR logical_and
14                  ;
15 logical_and:     igualdad
16                  | logical_and AND igualdad
17                  ;
18 igualdad:        relacional
19                  | igualdad EQ relacional
20                  | igualdad NE relacional
21                  ;
22 relacional:      aditivo
23                  | relacional '<' aditivo
24                  | relacional '>' aditivo
25                  | relacional LE aditivo
26                  | relacional GE aditivo
27                  ;
28 aditivo:         multiplicativo
29                  | aditivo '+' multiplicativo
30                  | aditivo '-' multiplicativo
31                  ;
32 multiplicativo:  unario
33                  | multiplicativo '*' unario
34                  | multiplicativo '/' unario
35                  | multiplicativo '%' unario
36                  ;
37 unario:          operando
38                  | '!' unario
39                  | '+' operando %prec UNARY_SIGN
40                  | '-' operando %prec UNARY_SIGN
41                  ;

```



```

42
43 operando:          IDENTIF
44                   | IDENTIF '(' argumento ')',
45                   | NUMBER
46                   | '(' logical_or ')',
47                   | vector
48                   ;
49
50 vector:            IDENTIF '[' logical_or ']',
51                   ;

```

Se declararon *tokens* para los operadores lógicos y de comparación con el objetivo de mejorar la legibilidad del código y establecer un acoplamiento más claro entre las fases de análisis léxico y análisis sintáctico.

En particular, los operadores de comparación fueron definidos como **nonassoc**, ya que, a diferencia de operadores como la suma o la multiplicación, las comparaciones (por ejemplo, `==`, `!=`) no son asociativas. Esto significa que una expresión como:

$$a == b == c$$

no tiene un significado bien definido en C. Existen dos posibles formas de interpretarla:

$$(a == b) == c \parallel a == (b == c)$$

Ambas interpretaciones pueden generar ambigüedad semántica. Al declarar estos operadores como **nonassoc**, el *parser* rechaza expresiones como `a == b == c` y obliga al programador a escribirlas de manera explícita, por ejemplo:

- `(a == b) && (b == c)`
- Uso de paréntesis para aclarar el orden de evaluación

Este enfoque permite capturar errores de lógica o errores tipográficos en tiempo de compilación, evitando comportamientos ambiguos o inesperados en tiempo de ejecución.

```

1 ...
2 %token EQ
3 %token NE
4 %token LE
5 %token GE
6 %token OR

```

```

7 %token AND
8
9 %right '='
10 %left OR
11 %left AND
12 %nonassoc EQ NE
13 %nonassoc '<' '>' LE GE
14 %left '+' '-'
15 %left '*' '/' '%'
16 %right UNARY_SIGN "!"

```

## 4. Traducción Backend

Una vez acabado con la implementación del frontend que traducía de C a Lisp, vamos a realizar el correspondiente backend, de Lisp a Forth. Para ello, hemos decidido dividir la implementación en las siguientes fases:

### 4.1. Variables globales

Tal y como traducimos el lisp todas las variables que pueden haber en este código serán globales. Simplemente cambiará el nombre si son específicas a una función en específico. Como ya se unificaron las formas de declarar variables esta parte de la gramática es relativamente simple.

```

1 var_global:      declaracion
2                  | var_global declaracion
3                  ;
4 declaracion:     '(' SETQ IDENTIF logical_or ')'
5                  ;

```

### 4.2. Función main y funciones genéricas

La definición de funciones se puede unificar para que haya un no terminal que acoge ambos dos tipos de posibles funciones el main que sigue siendo obligatorio y las otras que siguen siendo opcionales. Esta es una forma más simple que la utilizada en el Frontend y por la traducción de Lisp no se nos requerirá el uso de argumentos en estas funciones.

```

1 def_funcs:      def_funcs def_func
2                  | def_func
3                  | def_funcs llamada_main

```

```

4          | llamada_main
5          ;
6 llamada_main:      '( ' MAIN ' )'
7
8 def_func:          '( ' DEFUN MAIN '( ' )' cuerpo ' )'
9          | '( ' DEFUN IDENTIF '( ' )' cuerpo ' )
10         ,
11         ;

```

### 4.3. Impresión de cadenas

Esta función ya fue muy alterada para el cambio de C a Lisp y aquí la traducción es bastante simple ya que el programa puede necesitar imprimir strings o variables/resultados de operaciones.

```

1 sentencia:        '( ' PRINT STRING ' )'
2                  | '( ' PRINC logical_or ' )'
3                  | '( ' PRINC STRING ' )'
4                  ...
5                  ;

```

### 4.4. Operadores, precedencia y asociatividad

Estos son todos los operadores y comparadores que permiten que se sigan las reglas de asociatividad que creamos en la primera gramática. Esta parte de la gramática es muy similar a la del Frontend ya que el cambio de lenguaje no realiza ningún cambio estructural muy grande. Lo que sí que tuvimos en cuenta fue en cuanto a las operaciones en Lisp, que al llevar paréntesis hicimos que las operaciones tuvieran el mismo nivel de precedencia.

```

1 logical_or:       logical_and
2                  | '( ' OR logical_or logical_and ' )'
3                  ;
4 logical_and:      igualdad
5                  | '( ' AND logical_and igualdad ' )'
6                  ;
7 igualdad:         relacional
8                  | '( ' '=' igualdad relacional ' )'
9                  | '( ' NE igualdad relacional ' )'
10                 ;
11 relacional:       operacion
12                 | '( ' '<' relacional operacion ' )'

```

```

13         | '(' '>' relacional operacion ')',
14         | '(' 'LE relacional operacion ')',
15         | '(' 'GE relacional operacion ')',
16         ;
17 operacion:      unario
18         | '(' '+' operacion operacion ')',
19         | '(' '-' operacion operacion ')',
20         | '(' '*' operacion operacion ')',
21         | '(' '/' operacion operacion ')',
22         | '(' MOD operacion operacion ')',
23         ;
24 unario:         operando
25         | '(' NOT unario ')',
26         | '+' operando %prec UNARY_SIGN
27         | '(' '-' operando %prec UNARY_SIGN
28         | ')',
29         ;
30 operando:      IDENTIF
31         | NUMBER
32         | '(' logical_or ')',
33         ;

```

## 4.5. Estructuras de Control

Hemos logrado que en esta gramática las sentencias y estructuras de control estén unificadas gracias a la estructura de lisp y a la forma tan estandarizada de definir el código.

```

1 sentencia:      '(' PRINT STRING ')',
2                 | '(' PRINC logical_or ')',
3                 | '(' PRINC STRING ')',
4                 | '(' SETF IDENTIF logical_or ')',
5                 | '(' SETQ IDENTIF logical_or ')',
6                 | '(' LOOP WHILE logical_or DO
7                   lista_sentencia ')',
8                 | '(' IF logical_or sentencia ')',
9                 | '(' IF logical_or sentencia
10                  sentencia ')',
11                | '(' PROGN lista_sentencia ')',
12                ;

```

## 5. Pruebas

En esta sección se presentan las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento del traductor en sus distintas etapas. Cada prueba incluye el código fuente en C, su correspondiente traducción a Lisp y finalmente la traducción a Forth.

### 5.1. Variables globales

```
1 #include <stdio.h>
2 int a;
3 int b = 10, c, d = 5;
4 main() {
5     puts("Variables globales");
6 }
7 //@ (main)
8 -----
9 Variables globales
10 -----
11 (setq a 0)
12 (setq b 10)
13 (setq c 0)
14 (setq d 5)
15 (defun main ()
16     (print "Variables globales")
17 )
18 (main)
19 -----
20 "Variables globales"
21 -----
22 variable a
23 0 a !
24 variable b
25 10 b !
26 variable c
27 0 c !
28 variable d
29 5 d !
30 : main ." Variables globales" ;
31 main
32 -----
33 Variables globales
```

## 5.2. Función main

```
1 #include <stdio.h>
2 int x;
3
4 main() {
5     x = x + 1;
6     printf("%d\n", x);
7 }
8 //@ (main)
9 -----
10 1
11 -----
12 (setq x 0)
13 (defun main ()
14     (setf x (+ x 1))
15     (princ x)
16 )
17
18 (main)
19 -----
20 1
21 -----
22 variable x
23 0 x !
24 : main x @ 1 + x !
25 x @ . ;
26 main
27 -----
28 1
```

## 5.3. puts

```
1 #include <stdio.h>
2 int main_var;
3 main() {
4     puts("Hola, mundo!");
5 }
6 //@ (main)
7 -----
8 Hola, mundo!
9 -----
```

```

10 (setq main_var 0)
11 (defun main ()
12     (print "Hola, mundo!")
13 )
14 (main)
15 -----
16 "Hola, mundo!"
17 -----
18 variable main_var
19 0 main_var !
20 : main ." Hola, mundo!" ;
21 main
22 -----
23 Hola, mundo!

```

## 5.4. print simple

```

1 #include <stdio.h>
2 int val = 42;
3 main() {
4     printf("%d", val);
5 }
6 //@ (main)
7 -----
8 42
9 -----
10 (setq val 42)
11 (defun main ()
12     (princ val)
13 )
14 )
15 (main)
16 -----
17 42
18 -----
19 variable val
20 42 val !
21 : main val @ . ;
22 main
23 -----
24 42

```

## 5.5. operadores

```
1 #include <stdio.h>
2 int a = 1;
3 int b = 0;
4 int c = 2;
5 main() {
6     // mezcla &&, ||, ==, !=, <, >, <=, >=, %, +, -, *, /
7     if ((a + c * 3) % 2 == 1 && b != 0 || a <= c) {
8         puts("OK");
9     }
10 }
11 //@ (main)
12 -----
13 OK
14 -----
15 (setq a 1)
16 (setq b 0)
17 (setq c 2)
18 (defun main ()
19     (if (or (and (= (mod (+ a (* c 3)) 2) 1) (/= b 0))
20         ) (<= a c))
21     (progn (print "OK")))
22 )
23 (main)
24 -----
25 "OK"
26 -----
27 variable a
28 1 a !
29 variable b
30 0 b !
31 variable c
32 2 c !
33 : main a @ c @ 3 * + 2 mod 1 = b @ 0 = 0= and a @ c @ <=
34 or if
35 ." OK"
36 then ;
37 main
38 -----
39 OK
```



## 5.6. while

```
1 #include <stdio.h>
2 int cnt = 0;
3 main() {
4     while (cnt < 3) {
5         printf("%d\n", cnt);
6         cnt = cnt + 1;
7     }
8 }
9 //@ (main)
10 -----
11 0
12 1
13 2
14 -----
15 (setq cnt 0)
16 (defun main ()
17     (loop while (< cnt 3) do
18         (progn (princ cnt)
19             (setf cnt (+ cnt 1))))
20 )
21 (main)
22 -----
23 012
24 -----
25
26 variable cnt
27 0 cnt !
28 : main begin
29     cnt @ 3 <
30 while
31     cnt @ .
32 cnt @ 1 + cnt !
33 repeat ;
34 main
35 -----
36 0 1 2
```

## 5.7. if-else-then

```
1 #include <stdio.h>
```

```

2 int v = 5;
3 int res;
4 main() {
5     if (v % 2 == 0) {
6         puts("Par");
7     } else {
8         puts("Impar");
9     }
10    if (v > 10) {
11        puts("Grande");
12    }
13 }
14 //@ (main)
15 -----
16 Impar
17 -----
18 (setq v 5)
19 (setq res 0)
20 (defun main ()
21     (if (= (mod v 2) 0)
22         (progn (print "Par"))
23         (progn (print "Impar")))
24     (if (> v 10)
25         (progn (print "Grande")))
26 )
27 (main)
28 -----
29 "Impar"
30 -----
31 variable v
32 5 v !
33 variable res
34 0 res !
35 : main v @ 2 mod 0 = if
36     ." Par"
37 else
38     ." Impar"
39 then
40 v @ 10 > if
41     ." Grande"
42 then ;
43 main
44 -----

```

## 5.8. for

```

1  #include <stdio.h>
2  int i;
3  int suma = 0;
4  int n = 5;
5  main() {
6
7      for (i = 0; i < n; i = i + 1) {
8          suma = suma + i;
9      }
10     printf("%d\n", suma);
11 }
12 //@ (main)
13 -----
14 10
15 -----
16 (setq i 0)
17 (setq suma 0)
18 (setq n 5)
19 (defun main ()
20     (setq i 0)
21     (loop while (< i n) do
22         (progn (setf suma (+ suma i)))
23         (setf i (+ i 1)))
24     (princ suma)
25 )
26 )
27 (main)
28 -----
29 10
30 -----
31 variable i
32 0 i !
33 variable suma
34 0 suma !
35 variable n
36 5 n !
37 : main 0 i !
38 begin

```

```

39         i @ n @ <
40 while
41     suma @ i @ + suma !
42 i @ 1 + i !
43 repeat
44 suma @ . ;
45 main
46 -----
47 10

```

## 5.9. Funciones (Lisp)

```

1 square (int v) {
2     return v * v;
3 }
4 sum (int x, int y) { return x + y; }
5
6 main() {
7     int r1, r2;
8     r1 = square(7);
9     r2 = sum(3, 4);
10    printf("%d %d\n", r1, r2);
11    // llamada como procedimiento (valor ignorado)
12    square(5);
13 }
14 //@ (main)
15 -----
16 (defun square (v )
17     (* v v)
18 )
19
20 (defun sum (x y )
21     (+ x y)
22 )
23
24 (defun main ()
25     (setq r1 0)
26     (setq r2 0)
27     (setf r1 (square 7 ))
28     (setf r2 (sum 3 4 ))
29     (princ r1)
30     (princ r2)

```

```

31
32         (square 5 )
33     )
34 (main)

```

## 5.10. Variables locales (Lisp)

```

1  main() {
2      int g = 1;
3      int a = 4, b;
4      a = a + 1;
5      b = a * 2;
6      printf("%d %d\n", a, b);
7  }
8  //@ (main)
9  -----
10 (defun main ()
11     (setq g 1)
12     (setq a 4)
13     (setq b 0)
14     (setf a (+ a 1))
15     (setf b (* a 2))
16     (princ a)
17     (princ b)
18 )
19 )
20 (main)

```

## 5.11. Vectores (Lisp)

```

1  int arr[5];
2
3  main() {
4      int i;
5      for (i = 0; i < 5; i = i + 1) {
6          arr[i] = i * 2;
7      }
8      printf("%d %d %d %d %d\n",
9             arr[0], arr[1], arr[2], arr[3], arr[4]);
10 }
11 //@ (main)

```

```
12 -----
13 (setq arr (make-array 5))
14
15 (defun main ()
16     (setq i 0)
17     (setq i 0)
18     (loop while (< i 5) do
19         (progn (setf (aref arr i) (* i 2)))
20         (setf i (+ i 1)))
21     (princ (aref arr 0))
22     (princ (aref arr 1))
23     (princ (aref arr 2))
24     (princ (aref arr 3))
25     (princ (aref arr 4))
26
27 )
28 (main)
```