

# Tema 12: Analizadores sintácticos funcionales

## Informática (2019–20)

José A. Alonso Jiménez

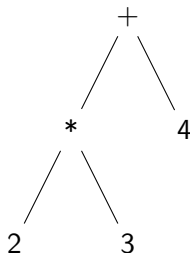
Grupo de Lógica Computacional  
Departamento de Ciencias de la Computación e I.A.  
Universidad de Sevilla

## Tema 12: Analizadores sintácticos funcionales

1. Analizadores sintácticos
2. El tipo de los analizadores sintácticos
3. Analizadores sintácticos básicos
4. Composición de analizadores sintácticos
  - Secuenciación de analizadores sintácticos
  - Elección de analizadores sintácticos
5. Primitivas derivadas
6. Tratamiento de los espacios
7. Analizador de expresiones aritméticas

## Analizadores sintácticos

- ▶ Un **analizador sintáctico** es un programa que analiza textos para determinar su **estructura sintáctica**.
- ▶ Ejemplo de análisis sintáctico aritmético: La estructura sintáctica de la cadena "2\*3+4" es el árbol



- ▶ El análisis sintáctico forma parte del preprocesamiento en la mayoría de las aplicaciones reales.

## Opciones para el tipo de los analizadores sintácticos

- ▶ Opción inicial:

---

```
type Analizador = String -> Tree
```

---

- ▶ Con la parte no analizada:

---

```
type Analizador = String -> (Tree,String)
```

---

- ▶ Con todos los análisis:

---

```
type Analizador = String -> [(Tree,String)]
```

---

- ▶ Con estructuras arbitrarias:

---

```
type Analizador a = String -> [(a,String)]
```

---

- ▶ Simplificación: analizadores que fallan o sólo dan un análisis.

## Analizadores sintácticos básicos: resultado

- ▶ `(analiza a cs)` analiza la cadena `cs` mediante el analizador `a`.  
Por ejemplo,

---

```
analiza :: Analizador a -> String -> [(a,String)]
analiza a cs = a cs
```

---

- ▶ El analizador `resultado v` siempre tiene éxito, devuelve `v` y no consume nada. Por ejemplo,

```
| ghci> analiza (resultado 1) "abc"
| [(1,"abc")]
```

---

```
resultado :: a -> Analizador a
resultado v = \xs -> [(v,xs)]
```

---

## Analizadores sintácticos básicos: fallo

- ▶ El analizador `fallo` siempre falla. Por ejemplo,

```
| ghci> analiza fallo "abc"  
| []
```

---

```
fallo :: Analizador a
```

```
fallo = \xs -> []
```

---

## Analizadores sintácticos básicos: elemento

- ▶ El analizador `elemento` falla si la cadena es vacía y consume el primer elemento en caso contrario. Por ejemplo,

```
ghci> analiza elemento ""  
[]  
ghci> analiza elemento "abc"  
[('a',"bc")]
```

---

```
elemento :: Analizador Char  
elemento = \xs -> case xs of  
            [] -> []  
            (x:xs) -> [(x , xs)]
```

---

## Tema 12: Analizadores sintácticos funcionales

1. Analizadores sintácticos
2. El tipo de los analizadores sintácticos
3. Analizadores sintácticos básicos
4. Composición de analizadores sintácticos  
    Secuenciación de analizadores sintácticos  
    Elección de analizadores sintácticos
5. Primitivas derivadas
6. Tratamiento de los espacios



## Secuenciación de analizadores sintácticos

- $((p \gg f) e)$  falla si el análisis de  $e$  por  $p$  falla, en caso contrario, se obtiene un valor ( $v$ ) y una salida ( $s$ ), se aplica la función  $f$  al valor  $v$  obteniéndose un nuevo analizador con el que se analiza la salida  $s$ .

---

```
infixr 5 >*>
```

```
(>*>) :: Analizador a -> (a -> Analizador b) ->
      Analizador b
```

```
p >*> f = \ent -> case analiza p ent of
                []      -> []
                [(v,sal)] -> analiza (f v) sal
```

---

## Secuenciación de analizadores sintácticos

- ▶ `primeroTercero` es un analizador que devuelve los caracteres primero y tercero de la cadena. Por ejemplo,

```
| primeroTercero "abel"  ~> [ (('a','e'), "l" ) ]  
| primeroTercero "ab"   ~> []
```

---

```
primeroTercero :: Analizador (Char,Char)
```

```
primeroTercero =
```

```
    elemento >*> \x ->
```

```
    elemento >*> \_ ->
```

```
    elemento >*> \y ->
```

```
    resultado (x,y)
```

---

## Tema 12: Analizadores sintácticos funcionales

1. Analizadores sintácticos
2. El tipo de los analizadores sintácticos
3. Analizadores sintácticos básicos
4. **Composición de analizadores sintácticos**
  - Secuenciación de analizadores sintácticos
  - Elección de analizadores sintácticos**
5. Primitivas derivadas
6. Tratamiento de los espacios

## Elección de analizadores sintácticos

- $((p \text{ +++ } q) \text{ e})$  analiza e con p y si falla analiza e con q. Por ejemplo,

```

Main*> analiza (elemento +++ resultado 'd') "abc"
[('a',"bc")]
Main*> analiza (fallo +++ resultado 'd') "abc"
[('d',"abc")]
Main*> analiza (fallo +++ fallo) "abc"
[]

```

---

```

(+++) :: Analizador a -> Analizador a -> Analizador a
p +++ q = \ent -> case analiza p ent of
                []          -> analiza q ent
                [(v,sal)] -> [(v,sal)]

```

---

## Primitivas derivadas: sat

- ▶ `(sat p)` es el analizador que consume un elemento si dicho elemento cumple la propiedad `p` y falla en caso contrario. Por ejemplo,

```
analiza (sat isLower) "hola"  ~> [('h',"ola")]
analiza (sat isLower) "Hola"  ~> []
```

---

```
sat :: (Char -> Bool) -> Analizador Char
sat p = elemento >*> \x ->
    if p x then resultado x else fallo
```

---

## Primitivas derivadas

- ▶ `digito` analiza si el primer carácter es un dígito. Por ejemplo,

```
analiza digito "123"  ~> [('1',"23")]  
analiza digito "uno" ~> []
```

---

```
digito :: Analizador Char
```

```
digito = sat isDigit
```

---

- ▶ `minuscula` analiza si el primer carácter es una letra minúscula. Por ejemplo,

```
analiza minuscula "eva"  ~> [('e',"va")]  
analiza minuscula "Eva" ~> []
```

---

```
minuscula :: Analizador Char
```

```
minuscula = sat isLower
```

---

## Primitivas derivadas

- ▶ `mayuscula` analiza si el primer carácter es una letra mayúscula.

Por ejemplo,

```
analiza mayuscula "Eva"  ~> [('E', "va")]
analiza mayuscula "eva"  ~> []
```

---

`mayuscula :: Analizador Char`

`mayuscula = sat isUpper`

---

- ▶ `letra` analiza si el primer carácter es una letra. Por ejemplo,

```
analiza letra "Eva"  ~> [('E', "va")]
analiza letra "eva"  ~> [('e', "va")]
analiza letra "123"  ~> []
```

---

`letra :: Analizador Char`

`letra = sat isAlpha`

---

## Primitivas derivadas

- ▶ `alfanumerico` analiza si el primer carácter es una letra o un número. Por ejemplo,

```
analiza alfanumerico "Eva"  ~> [('E', "va")]
analiza alfanumerico "eva"  ~> [('e', "va")]
analiza alfanumerico "123"  ~> [('1', "23")]
analiza alfanumerico " 123" ~> []
```

---

```
alfanumerico :: Analizador Char
```

```
alfanumerico = sat isAlphaNum
```

---



## Primitivas derivadas

- ▶ `(caracter x)` analiza si el primer carácter es igual al carácter `x`.

Por ejemplo,

```
| analiza (caracter 'E') "Eva"  ~> [('E',"va")]  
| analiza (caracter 'E') "eva"  ~> []
```

---

```
caracter :: Char -> Analizador Char
```

```
caracter x = sat (== x)
```

---

## Primitivas derivadas

- `(cadena c)` analiza si empieza con la cadena `c`. Por ejemplo,

```
analiza (cadena "abc") "abcdef"  ~> [("abc","def")]
analiza (cadena "abc") "abdcef"  ~> []
```

---

```
cadena :: String -> Analizador String
cadena []      = resultado []
cadena (x:xs) = caracter x >*> \x  ->
                  cadena xs  >*> \xs ->
                  resultado (x:xs)
```

---

## Primitivas derivadas

- ▶ `varios p` aplica el analizador `p` cero o más veces. Por ejemplo,
 

```
analiza (varios digito) "235abc"  ~> [("235","abc")]
analiza (varios digito) "abc235"  ~> [("", "abc235")]
```

---

```
varios :: Analizador a -> Analizador [a]
```

```
varios p = varios1 p +++ resultado []
```

---

- ▶ `varios1 p` aplica el analizador `p` una o más veces. Por ejemplo,
 

```
analiza (varios1 digito) "235abc"  ~> [("235","abc")]
analiza (varios1 digito) "abc235"  ~> []
```

---

```
varios1 :: Analizador a -> Analizador [a]
```

```
varios1 p = p          >*> \v  ->
```

```
    varios p >*> \vs ->
```

```
    resultado (v:vs)
```

---

## Primitivas derivadas

- ▶ `ident` analiza si comienza con un identificador (i.e. una cadena que comienza con una letra minúscula seguida por caracteres alfanuméricos). Por ejemplo,

```
Main*> analiza ident "lunes12 de Ene"  
[("lunes12", " de Ene")]  
Main*> analiza ident "Lunes12 de Ene"  
[]
```

---

```
ident :: Analizador String  
ident = minuscula          >*> \x  ->  
      varios alfanumerico >*> \xs ->  
      resultado (x:xs)
```

---

## Primitivas derivadas

- ▶ `nat` analiza si comienza con un número natural. Por ejemplo,

```
analiza nat "14DeAbril"  ~>  [(14,"DeAbril")]
analiza nat " 14DeAbril" ~>  []
```

---

```
nat :: Analizador Int
```

```
nat = varios1 digito >*> \xs ->
      resultado (read xs)
```

---

- ▶ `espacio` analiza si comienza con espacios en blanco. Por ejemplo,

```
analiza espacio "   a b c" ~>  [((),"a b c")]
```

---

```
espacio :: Analizador ()
```

```
espacio = varios (sat isSpace) >*> \_ ->
          resultado ()
```

---

## Tratamiento de los espacios

- `unidad p` ignora los espacios en blanco y aplica el analizador `p`.  
Por ejemplo,

```
Main*> analiza (unidad nat) " 14DeAbril"
```

```
[(14,"DeAbril")]
```

```
Main*> analiza (unidad nat) " 14   DeAbril"
```

```
[(14,"DeAbril")]
```

---

```
unidad :: Analizador a -> Analizador a
```

```
unidad p = espacio >*> \_ ->
```

```
    p          >*> \v ->
```

```
    espacio >*> \_ ->
```

```
    resultado v
```

---

## Tratamiento de los espacios

- `identificador` analiza un identificador ignorando los espacios delante y detrás. Por ejemplo,

```
Main*> analiza identificador "  lunes12  de Ene"  
[("lunes12","de Ene")]
```

---

```
identificador :: Analizador String  
identificador = unidad ident
```

---

- `natural` analiza un número natural ignorando los espacios delante y detrás. Por ejemplo,

```
analiza natural "  14DeAbril"  ~> [(14,"DeAbril")]
```

---

```
natural :: Analizador Int  
natural = unidad nat
```

---

## Tratamiento de los espacios

- ▶ `(simbolo xs)` analiza la cadena `xs` ignorando los espacios delante y detrás. Por ejemplo,

```
|Main*> analiza (simbolo "abc") " abcdef"  
|["abc","def"]
```

---

```
simbolo :: String -> Analizador String  
simbolo xs = unidad (cadena xs)
```

---



## Tratamiento de los espacios

- `listaNat` analiza una lista de naturales ignorando los espacios.

Por ejemplo,

```
Main*> analiza listaNat " [ 2, 3, 5  ]"
[[[2,3,5],""]]
Main*> analiza listaNat " [ 2, 3,]"
[]
```

---

```
listaNat :: Analizador [Int]
```

```
listaNat = simbolo "["           >*> \_ ->
          natural                >*> \n ->
          varios (simbolo ","    >*> \_ ->
                  natural)      >*> \ns ->
          simbolo "]"           >*> \_ ->
          resultado (n:ns)
```

---

## Expresiones aritméticas

- ▶ Consideramos expresiones aritméticas:
  - ▶ construidas con números, operaciones ( $+$  y  $*$ ) y paréntesis.
  - ▶  $+$  y  $*$  asocian por la derecha.
  - ▶  $*$  tiene más prioridad que  $+$ .
- ▶ Ejemplos:
  - ▶  $2 + 3 + 5$  representa a  $2 + (3 + 5)$ .
  - ▶  $2 * 3 + 5$  representa a  $(2 * 3) + 5$ .

## Gramáticas de las expresiones aritméticas: Gramática 1

- ▶ Gramática 1 de las expresiones aritméticas:

$$expr ::= expr + expr \mid expr * expr \mid (expr) \mid nat$$
$$nat ::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid \dots$$

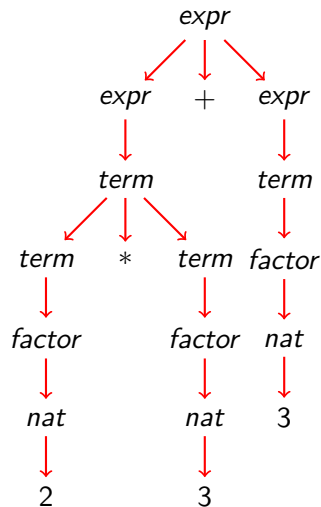
- ▶ La gramática 1 no considera prioridad:  
acepta  $2 + 3 * 5$  como  $(2 + 3) * 5$  y como  $2 + (3 * 5)$
- ▶ La gramática 1 no considera asociatividad:  
acepta  $2 + 3 + 5$  como  $(2 + 3) + 5$  y como  $2 + (3 + 5)$
- ▶ La gramática 1 es ambigua.

## Gramáticas de las expresiones aritméticas: Gramática 2

- ▶ Gramática 2 de las expresiones aritméticas (con prioridad):

$$expr ::= expr + expr \mid term$$
$$term ::= term * term \mid factor$$
$$factor ::= (expr) \mid nat$$
$$nat ::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid \dots$$

- ▶ La gramática 2 sí considera prioridad:  
acepta  $2 + 3 * 5$  sólo como  $2 + (3 * 5)$
- ▶ La gramática 2 no considera asociatividad:  
acepta  $2 + 3 + 5$  como  $(2 + 3) + 5$  y como  $2 + (3 + 5)$
- ▶ La gramática 2 es ambigua.

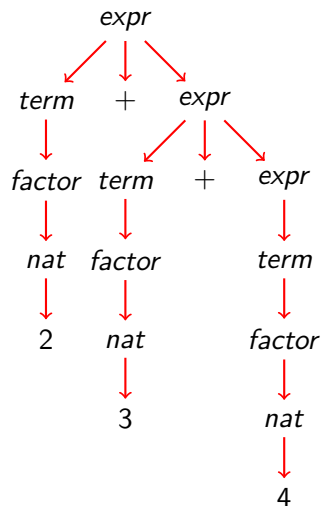
Árbol de análisis sintáctico de  $2 * 3 + 5$  con la gramática 2

## Gramáticas de las expresiones aritméticas: Gramática 3

- ▶ Gramática 3 de las expresiones aritméticas:

$$expr ::= term + expr \mid term$$
$$term ::= factor * term \mid factor$$
$$factor ::= (expr) \mid nat$$
$$nat ::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid \dots$$

- ▶ La gramática 3 sí considera prioridad:  
acepta  $2 + 3 * 5$  sólo como  $2 + (3 * 5)$
- ▶ La gramática 3 sí considera asociatividad:  
acepta  $2 + 3 + 5$  como  $2 + (3 + 5)$
- ▶ La gramática 3 no es ambigua (i.e. es libre de contexto).

Árbol de análisis sintáctico de  $2 + 3 + 5$  con la gramática 3

## Gramáticas de las expresiones aritméticas: Gramática 4

- ▶ La gramática 4 se obtiene simplificando la gramática 3:

$$expr ::= term (+ expr \mid \epsilon)$$
$$term ::= factor (* term \mid \epsilon)$$
$$factor ::= (expr) \mid nat$$
$$nat ::= 0 \mid 1 \mid 2 \mid \dots$$

donde  $\epsilon$  es la cadena vacía.

- ▶ La gramática 4 no es ambigua.
- ▶ La gramática 4 es la que se usará para escribir el analizador de expresiones aritméticas.



## Analizador de expresiones aritméticas

- ▶ `expr` analiza una expresión aritmética devolviendo su valor. Por ejemplo,

```
analiza expr "2*3+5"    ~> [(11,"")]
analiza expr "2*(3+5)" ~> [(16,"")]
analiza expr "2+3*5"    ~> [(17,"")]
analiza expr "2*3+5abc" ~> [(11,"abc")]
```

---

```
expr :: Analizador Int
```

```
expr = term          >*> \t ->
      (simbolo "+"   >*> \_ ->
       expr          >*> \e ->
       resultado (t+e))
      +++ resultado t
```

---

## Analizador de expresiones aritméticas

- ▶ averbterm analiza un término de una expresión aritmética devolviendo su valor. Por ejemplo,

```
analiza term "2*3+5"    ~> [(6,"+5")]
analiza term "2+3*5"    ~> [(2,"+3*5")]
analiza term "(2+3)*5+7" ~> [(25,"+7")]
```

---

```
term :: Analizador Int
```

```
term = factor           >*> \f ->
      (simbolo "*"      >*> \_ ->
       term             >*> \t ->
       resultado (f*t))
      +++ resultado f
```

---

## Analizador de expresiones aritméticas

- **factor** analiza un factor de una expresión aritmética devolviendo su valor. Por ejemplo,

```
analiza factor "2*3+5"    ~> [(2,"*3+5")]
analiza factor "(2+3)*5" ~> [(5,"*5")]
analiza factor "(2+3*7)*5" ~> [(23,"*5")]
```

---

```
factor :: Analizador Int
```

```
factor = (simbolo "("  >*> \_ ->
          expr         >*> \e  ->
          simbolo ")"  >*> \_ ->
          resultado e)
+++ natural
```

---

## Analizador de expresiones aritméticas

- (`valor cs`) analiza la cadena `cs` devolviendo su valor si es una expresión aritmética y un mensaje de error en caso contrario. Por ejemplo,

```
valor "2*3+5"      ~> 11
valor "2*(3+5)"    ~> 16
valor "2 * 3 + 5"  ~> 11
valor "2*3x"       ~> *** Exception: sin usar x
valor "-1"         ~> *** Exception: entrada no valida
```

---

```
valor :: String -> Int
valor xs = case (analiza expr xs) of
    [(n, [])] -> n
    [(_,sal)] -> error ("sin usar " ++ sal)
    []        -> error "entrada no valida"
```

---

## Bibliografía

1. R. Bird. *Introducción a la programación funcional con Haskell*. Prentice Hall, 2000.
  - ▶ Cap. 11: Análisis sintáctico.
2. G. Hutton *Programming in Haskell*. Cambridge University Press, 2007.
  - ▶ Cap. 8: Functional parsers.
3. G. Hutton y E. Meijer. [Monadic Parser Combinators](#). Technical Report NOTTCS-TR-96-4, Department of Computer Science, University of Nottingham, 1996.
4. G. Hutton y E. Meijer. [Monadic Parsing in Haskell](#). *Journal of Functional Programming*, 8(4): 437—444, 1998.
5. B.C. Ruiz, F. Gutiérrez, P. Guerrero y J.E. Gallardo. *Razonando con Haskell*. Thompson, 2004.
  - ▶ Cap. 14: Analizadores.