

Tema 10: Evaluación perezosa

Programación declarativa (2009–10)

José A. Alonso Jiménez

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

Tema 10: Evaluación perezosa

1. Estrategias de evaluación
2. Terminación
3. Número de reducciones
4. Estructuras infinitas
5. Programación modular
6. Aplicación estricta

Tema 10: Evaluación perezosa

1. Estrategias de evaluación
2. Terminación
3. Número de reducciones
4. Estructuras infinitas
5. Programación modular
6. Aplicación estricta

Estrategias de evaluación

- ▶ Para los ejemplos se considera la función

```
mult :: (Int,Int) -> Int
mult (x,y) = x*y
```

- ▶ Evaluación mediante paso de parámetros por valor (o por más internos):

```
    mult (1+2,2+3)
=   mult (3,5)      [por def. de +]
=   3*5             [por def. de mult]
=   15              [por def. de *]
```

- ▶ Evaluación mediante paso de parámetros por nombre (o por más externos):

```
    mult (1+2,2+3)
=   (1+2)*(3+5)    [por def. de mult]
=   3*5             [por def. de +]
```

Evaluación con lambda expresiones

- ▶ Se considera la función

```
mult' :: Int -> Int -> Int
mult' x = \y -> x*y
```

- ▶ Evaluación:

$$\begin{aligned} & \text{mult}' (1+2) (2+3) \\ = & \text{mult}' 3 (2+3) && [\text{por def. de } +] \\ = & (\lambda y \rightarrow 3*y) (2+3) && [\text{por def. de mult}'] \\ = & (\lambda y \rightarrow 3*y) 5 && [\text{por def. de } +] \\ = & 3*5 && [\text{por def. de } +] \\ = & 15 && [\text{por def. de } *] \end{aligned}$$

Tema 10: Evaluación perezosa

1. Estrategias de evaluación
2. **Terminación**
3. Número de reducciones
4. Estructuras infinitas
5. Programación modular
6. Aplicación estricta

Procesamiento con el infinito

- ▶ Definición de infinito

```
inf :: Int
inf = 1 + inf
```

- ▶ Evaluación de infinito en Haskell:

```
*Main> inf
C-c C-cInterrupted.
```

- ▶ Evaluación de infinito:

$$\begin{aligned} & \text{inf} \\ = & 1 + \text{inf} && \text{[por def. inf]} \\ = & 1 + (1 + \text{inf}) && \text{[por def. inf]} \\ = & 1 + (1 + (1 + \text{inf})) && \text{[por def. inf]} \\ = & \dots \end{aligned}$$

Procesamiento con el infinito

- ▶ Evaluación mediante paso de parámetros por valor:

```
fst (0,inf)
= fst (0,1 + inf)           [por def. inf]
= fst (0,1 + (1 + inf))    [por def. inf]
= fst (0,1 + (1 + (1 + inf))) [por def. inf]
= ...
```

- ▶ Evaluación mediante paso de parámetros por nombre:

```
fst (0,inf)
= 0           [por def. fst]
```

- ▶ Evaluación Haskell con infinito:

```
| *Main> fst (0,inf)
| 0
```


Tema 10: Evaluación perezosa

1. Estrategias de evaluación
2. Terminación
3. Número de reducciones
4. Estructuras infinitas
5. Programación modular
6. Aplicación estricta

Número de reducciones según las estrategias

- ▶ Para los ejemplos se considera la función

```
cuadrado :: Int -> Int
cuadrado n = n * n
```

- ▶ Evaluación mediante paso de parámetros por valor:

```
cuadrado (1+2)
= cuadrado 3      [por def. +]
= 3*3            [por def. cuadrado]
= 9              [por def. de *]
```

- ▶ Evaluación mediante paso de parámetros por nombre:

```
cuadrado (1+2)
= (1+2)*(1+2)    [por def. cuadrado]
= 3*(1+2)        [por def. de +]
= 3*3            [por def. de +]
= 9              [por def. de *]
```

Evaluación perezosa e impaciente

- ▶ En la evaluación mediante paso de parámetros por nombre los argumentos pueden evaluarse más veces que en el paso por valor.
- ▶ Se puede usar punteros para compartir valores de expresiones.
- ▶ La evaluación mediante paso de parámetros por nombre usando punteros para compartir valores de expresiones se llama **evaluación perezosa**.
- ▶ La evaluación mediante paso de parámetros por valor se llama **evaluación impaciente**.
- ▶ Evaluación perezosa del ejemplo anterior:
cuadrado (1+2)
= $x*x$ con $x = 1+2$ [por def. cuadrado]
= $3*3$ [por def. de +]
= 9 [por def. de *]
- ▶ Haskell usa evaluación perezosa.

Tema 10: Evaluación perezosa

1. Estrategias de evaluación
2. Terminación
3. Número de reducciones
4. **Estructuras infinitas**
5. Programación modular
6. Aplicación estricta

Evaluación con estructuras infinitas

- ▶ Evaluación impaciente:

```
head unos
= head (1 : unos)           [por def. unos]
= head (1 : (1 : unos))    [por def. unos]
= head (1 : (1 : (1 : unos))) [por def. unos]
= ...
```

- ▶ Evaluación perezosa:

```
head unos
= head (1 : unos) [por def. unos]
= 1               [por def. head]
```

- ▶ Evaluación Haskell:

```
*Main> head unos
1
```

Tema 10: Evaluación perezosa

1. Estrategias de evaluación
2. Terminación
3. Número de reducciones
4. Estructuras infinitas
5. Programación modular
6. Aplicación estricta

Programación modular

- ▶ La evaluación perezosa permite separar el control de los datos.
- ▶ Para los ejemplos se considera la función

```
Prelude
```

```
take :: Int -> [a] -> [a]
take n _ | n <= 0 = []
take _ []         = []
take n (x:xs)     = x : take (n-1) xs
```

- ▶ Ejemplo de separación del control (tomar 2 elementos) de los datos (una lista infinita de unos):

```
take 2 unos
= take 2 (1 : unos)      [por def. unos]
= 1 : (take 1 unos)     [por def. take]
= 1 : (take 1 (1 : unos)) [por def. unos]
= 1 : (1 : (take 0 unos)) [por def. take]
= 1 : (1 : [])          [por def. take]
= [1,1]                 [por notación de listas]
```


Terminación de evaluaciones con estructuras infinitas

- ▶ Ejemplo de no terminación:

```
*Main> [1..]  
[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,...
```

- ▶ Ejemplo de terminación:

```
*Main> take 3 [1..]  
[1,2,3]
```

- ▶ Ejemplo de no terminación:

```
*Main> filter (<=3) [1..]  
[1,2,3 C-c C-c Interrupted.
```

- ▶ Ejemplo de no terminación:

```
*Main> takeWhile (<=3) [1..]  
[1,2,3]
```

La criba de Erastótenes

► La criba de Erastótenes

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	...
	3		5		7		9		11		13		15	...
			5		7				11		13			...
					7				11		13			...
									11		13			...
											13			...

► Definición

```

primos :: [Int]
primos = criba [2..]

```

```

criba :: [Int] -> [Int]
criba (p:xs) = p : criba [x | x <- xs, x `mod` p /= 0]

```

La criba de Eratóstenes

► Evaluación:

```
|take 15 primos ~> [2,3,5,7,11,13,17,19,23,29,31,37,41,43,47]
```

► Cálculo:

```
primos
= criba [2..]
= criba (2 : [3..])
= 2 : (criba [x | x <- [3..], x `mod` 2 /= 0])
= 2 : (criba (3 : [x | x <- [4..], x `mod` 2 /= 0]))
= 2 : 3 : (criba [x | x <- [4..], x `mod` 2 /= 0,
                x `mod` 3 /= 0])
= 2 : 3 : (criba (5 : [x | x <- [6..], x `mod` 2 /= 0,
                    x `mod` 3 /= 0]))
= 2 : 3 : 5 : (criba ([x | x <- [6..], x `mod` 2 /= 0,
                    x `mod` 3 /= 0,
                    x `mod` 5 /= 0]))
= ...
```

Tema 10: Evaluación perezosa

1. Estrategias de evaluación
2. Terminación
3. Número de reducciones
4. Estructuras infinitas
5. Programación modular
6. Aplicación estricta

Ejemplo de programa sin aplicación estricta

- ▶ `(sumaNE xs)` es la suma de los números de `xs`. Por ejemplo,

```
| sumaNE [2,3,5]  ~>  10
```

```
sumaNE :: [Int] -> Int  
sumaNE xs = sumaNE' 0 xs
```

```
sumaNE' :: Int -> [Int] -> Int  
sumaNE' v []          = v  
sumaNE' v (x:xs)     = sumaNE' (v+x) xs
```

Ejemplo de programa sin aplicación estricta

► Evaluación: :

$$\begin{aligned}
 & \text{sumaNE } [2,3,5] \\
 = & \text{ sumaNE' } 0 [2,3,5] && \text{[por def. sumaNE]} \\
 = & \text{ sumaNE' } (0+2) [3,5] && \text{[por def. sumaNE']} \\
 = & \text{ sumaNE' } ((0+2)+3) [5] && \text{[por def. sumaNE']} \\
 = & \text{ sumaNE' } (((0+2)+3)+5) [] && \text{[por def. sumaNE']} \\
 = & (((0+2)+3)+5) && \text{[por def. sumaNE']} \\
 = & (2+3)+5 && \text{[por def. +]} \\
 = & 5+5 && \text{[por def. +]} \\
 = & 10 && \text{[por def. +]}
 \end{aligned}$$

Ejemplo de programa con aplicación estricta

- ▶ `(sumaE xs)` es la suma de los números de `xs`. Por ejemplo,

```
| sumaE [2,3,5]  ~>  10
```

```
sumaE :: [Int] -> Int  
sumaE xs = sumaE' 0 xs
```

```
sumaE' :: Int -> [Int] -> Int  
sumaE' v []      = v  
sumaE' v (x:xs) = (sumaE' $! (v+x)) xs
```

Ejemplo de programa con aplicación estricta

► Evaluación: :

sumaE [2,3,5]	
= sumaE' 0 [2,3,5]	[por def. sumaE]
= (sumaE' \$! (0+2)) [3,5]	[por def. sumaE']
= sumaE' 2 [3,5]	[por aplicación de \$!]
= (sumaE' \$! (2+3)) [5]	[por def. sumaE']
= sumaE' 5 [5]	[por aplicación de \$!]
= (sumaE' \$! (5+5)) []	[por def. sumaE']
= sumaE' 10 []	[por aplicación de \$!]
= 10	[por def. sumaE']

Comparación de consumo de memoria

- ▶ Comparación de consumo de memoria:

```
*Main> sumaNE [1..1000000]
*** Exception: stack overflow
*Main> sumaE [1..1000000]
1784293664
*Main> :set +s
*Main> sumaE [1..1000000]
1784293664
(2.16 secs, 145435772 bytes)
```

Plegado estricto

- Versión estricta de `foldl` en el `Data.List`

```
foldl' :: (a -> b -> a) -> a -> [b] -> a
foldl' f a []      = a
foldl' f a (x:xs) = (foldl' f $! f a x) xs
```

- Comparación de plegado y plegado estricto:

```
*Main> foldl (+) 0 [2,3,5]
10
*Main> foldl' (+) 0 [2,3,5]
10
*Main> foldl (+) 0 [1..1000000]
*** Exception: stack overflow
*Main> foldl' (+) 0 [1..1000000]
500000500000
```

Bibliografía

1. R. Bird. *Introducción a la programación funcional con Haskell*. Prentice Hall, 2000.
 - ▶ Cap. Cap. 7: Eficiencia.
2. G. Hutton *Programming in Haskell*. Cambridge University Press, 2007.
 - ▶ Cap. 12: Lazy evaluation.
3. B. O'Sullivan, D. Stewart y J. Goerzen *Real World Haskell*. O'Reilly, 2008.
 - ▶ Cap. 2: Types and Functions.
4. B.C. Ruiz, F. Gutiérrez, P. Guerrero y J.E. Gallardo. *Razonando con Haskell*. Thompson, 2004.
 - ▶ Cap. 2: Introducción a Haskell.
 - ▶ Cap. 8: Evaluación perezosa. Redes de procesos.
5. S. Thompson. *Haskell: The Craft of Functional Programming*, Second Edition. Addison-Wesley, 1999.
 - ▶ Cap. 17: Lazy programming.