Introducción a Haskell

Y a la programación funcional

Pablo Baeyens
@pbaeyens

Mario Román
@M42

OSL 2015

Introducción a Haskell
Y a la programación funcional
Pablo Baeyens @pbaeyens
Mario Román @M42
OSL 2015

Versión con notas.

Índice

Índice

Haskell

Tipos

Funciones

Más

¡Contribuye!

El código fuente de estas diapositivas, con varios ejemplos de Haskell literario, está disponible en:

github.com/M42/osl-talk-haskell

Erratas, correcciones y aportaciones son bienvenidas.

¡Contribuye!
El código fuente de estas diapositivas, con varios ejemplos de Haskell literario, está disponible en:
github.com/M42/osl-talk-haskell
Erratas, correcciones y aportaciones son bienvenidas.

Instalando Haskell Platform

`haskell-platform` contiene el compilador, depurador y otras utilidades. También podemos instalar `ghc`:

```
apt-get install haskell-platform
```

Ambos traen un gestor de librerías: `cabal`.

Haskell logo

Instalando Haskell Platform

haskell-platform contiene el compilador, depurador y otras utilidades. También podemos instalar ghc:

apt-get install haskell-platform

Ambos traen un gestor de librerías: cabal.

Haskell logo

- ghc: (Glorious) Glasgow Haskell Compiler.
- Linter: `hlint`.
- El paquete está disponible al menos en distribuciones Debian, Fedora y Arch.

El intérprete: GHCi

GHC incluye GHCi como intérprete. Permite los siguientes comandos:

- `:q` Quitar
- `:l` Cargar módulo
- `:r` Recargar módulos
- `:t` Consultar tipos

El intérprete: GHCi
GHC incluye GHCi como intérprete. Permite los siguientes comandos:
- :q Quitar
- :l Cargar módulo
- :r Recargar módulos
- :t Consultar tipos

Haskell permite operaciones aritméticas básicas, y operaciones con cadenas, listas o booleanos.

- `:set +t` para mostrar el tipo por defecto.
- `:set +m` para permitir entrada de varias líneas.

El intérprete: GHCi

Las funciones se llaman escribiendo su nombre, un espacio y sus parámetros, separados por espacios:

```
ghci> 3 + 4
7
ghci> (+) 2 9
11
ghci> succ 27
28
ghci> max 23 34
34
```


El intérprete: GHCi

Las funciones se llaman escribiendo su nombre, un espacio y sus parámetros, separados por espacios:

ghci> 3 + 4
7
ghci> (+) 2 9
11
ghci> succ 27
28
ghci> max 23 34
34

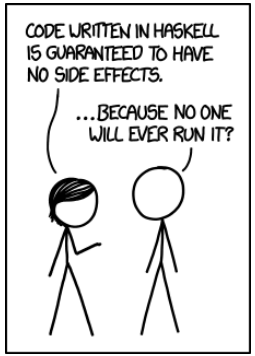
- Estamos usando **notación polaca**.
- Para escribir una función infija de forma prefija se pone entre paréntesis.
- Para escribir una función prefija de forma infija se pone entre acentos graves.

Puro: sin efectos secundarios

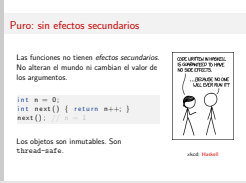
Las funciones no tienen *efectos secundarios*. No alteran el mundo ni cambian el valor de los argumentos.

```
int n = 0;
int next() { return n++; }
next(); // n = 1
```

Los objetos son inmutables. Son `thread-safe`.



*x*kcd: Haskell



- Ejemplo de `http://programmers.stackexchange.com/questions/40297`.
- Una función puede cambiar variables o escribir por pantalla. Eso hace que el orden de llamada importe.

Puro: transparencia referencial

Que las expresiones de Haskell sean referencialmente transparentes quiere decir:

- Todas las variables son **inmutables**.
- Las funciones son **deterministas**.
- Lo definido puede ser sustituido por su definición.

Y esto nos permite:

- Razonar algebraicamente: `f = g ⇒ f a = g a`.
- Paralelizar fácilmente: `f ‘par‘ g`, sin afectarse.

Puro: transparencia referencial
Que las expresiones de Haskell sean referencialmente transparentes quiere decir:
- Todas las variables son **inmutables**.
- Las funciones son **deterministas**.
- Lo definido puede ser sustituido por su definición.

Y esto nos permite:
- Razonar algebraicamente: `f = g ⇒ f a = g a`.
- Paralelizar fácilmente: `f ‘par‘ g`, sin afectarse.

- **Inmutables**: no cambian de valor en ejecución.
- **Deterministas**: devuelven lo mismo si se les pasan los mismos argumentos.
- **Par**: En `Control.Parallel` *The expression (x ‘par‘ y) sparks the evaluation of x (to weak head normal form) and returns y.* https://downloads.haskell.org/~ghc/7.0-latest/docs/html/users_guide/lang-parallel.html#id3208592

Funcional: evaluación

La programación se centra en **evaluar expresiones** en lugar de **ejecutar instrucciones**.

Funcional: evaluación
La programación se centra en **evaluar expresiones** en lugar de **ejecutar instrucciones**.

La diferencia es que nosotros no explicitamos al compilador cómo deben ser evaluadas estas expresiones. Simplemente indicamos lo que queremos obtener. En la programación imperativa solemos describir el proceso para obtenerlo, y no lo que queremos obtener.

Esta libertad permite al compilador evaluar las expresiones en el orden que quiera.

Funcional: las funciones como objetos

Las funciones son objetos de *primera clase*. Pueden ser devueltos por funciones y pueden pasarse como argumentos.

```
duplica lista = map (λ x → 2*x) lista
```

Esto ayuda a reutilizar código.

```
int duplica(int a);
int incrementa(int a);
vector<int> duplica_vector(vector<int> v);
vector<int> incrementa_vector(vector<int> v);
```


Funcional: las funciones como objetos
Las funciones son objetos de *primera clase*. Pueden ser devueltos por funciones y pueden pasarse como argumentos.
duplica lista = map (λ x → 2*x) lista
Esto ayuda a reutilizar código.
int duplica(int a);
int incrementa(int a);
vector<int> duplica_vector(vector<int> v);
vector<int> incrementa_vector(vector<int> v);

Las dos últimas funciones sólo se diferencian en la función que aplican sobre las componentes, eso podría ser un argumento a una función `aplica_vector` más general. Puede notarse la necesidad de separar dos partes:

- La función en sí.
- El aplicarla sobre un vector.

Aunque el resto de la sintaxis no es importante, hay que notar la función lambda. Una función anónima nos ahorra definirla y ponerle un nombre antes de usarla.

Funcional: abstracción

El ser funcional facilita factorizar el código. Cada pieza debería aparecer sólo una vez en su forma más general posible. Esto se consigue con:

- **Polimorfismo**, abstraer el tipo.
- **Clases de tipos**, unifican propiedades de varios tipos.
- **Funciones de alto nivel**, abstraen otras funciones.

Funcional: abstracción
El ser funcional facilita factorizar el código. Cada pieza debería aparecer sólo una vez en su forma más general posible. Esto se consigue con:
- **Polimorfismo**, abstraer el tipo.
- **Clases de tipos**, unifican propiedades de varios tipos.
- **Funciones de alto nivel**, abstraen otras funciones.

- Se facilita abstraer y reutilizar el código. Se puede hacer en otros lenguajes con más dificultad
- El lenguaje va a ser polimórfico, habrá clases de tipos que nos dejan tratar varios como si fueran el mismo. Suple necesidades de las interfaces y la herencia en el paradigma de objetos.

Tipos

Usamos `:t` para ver el tipo de una expresión:

```
ghci> :t True
True :: Bool
ghci> :t 'a'
'a' :: Char
ghci> :t "Una string!"
"Una string!" :: [Char]
ghci> :t not
not :: Bool → Bool
```


Tipos

Usamos :t para ver el tipo de una expresión:

ghci> :t True
True :: Bool
ghci> :t 'a'
'a' :: Char
ghci> :t "Una string!"
"Una string!" :: [Char]
ghci> :t not
not :: Bool → Bool

Los tipos se escriben con su primera letra mayúscula. Haskell tiene los tipos básicos ya construidos. Existen `Int`, `Bool`, `Char`, ...

Tipos

Los tipos de Haskell son **fuertes** y **estáticos**. La mayor parte de los errores se detectan en compilación como errores de tipo.

Además son **inferidos**, por lo que no tenemos por qué especificar el tipo de nuestras funciones:

```
ghci> let nand a b = not (a && b)
ghci> :t nand
nand :: Bool → Bool → Bool
```


Tipos

Los tipos de Haskell son **fuertes** y **estáticos**. La mayor parte de los errores se detectan en compilación como errores de tipo.

Además son **inferidos**, por lo que no tenemos por qué especificar el tipo de nuestras funciones:

```
ghci> let nand a b = not (a && b)
ghci> :t nand
nand :: Bool → Bool → Bool
```

Más errores en compilación y menos en ejecución.
Los tipos nos ayudan a documentar, a estructurar el código y a clarificarlo.

Clases de tipos

Las clases de tipos agrupan a tipos con la misma interfaz. Por ejemplo, la clase `Eq`, agrupa a los que tienen definida la función `(==)`.

```
2     :: Num a ⇒ a
pi    :: Floating a ⇒ a
(==)  :: Eq a ⇒ a → a → Bool
```

Las instancias de `Num` pueden sumarse y multiplicarse, las de `Show` convertirse a `String` y sobre las de `Integral` pueden calcularse restos modulares.

Clases de tipos

Las clases de tipos agrupan a tipos con la misma interfaz. Por ejemplo, la clase Eq, agrupa a los que tienen definida la función (==).

2 :: Num a ⇒ a
pi :: Floating a ⇒ a
(==) :: Eq a ⇒ a → a → Bool

Las instancias de Num pueden sumarse y multiplicarse, las de Show convertirse a String y sobre las de Integral pueden calcularse restos modulares.

No se debe confundir la doble flecha, que está siempre al principio e introduce condiciones, con la flecha simple que sirve para escribir funciones de un tipo a otro.

Variables de tipo

Haskell infiere siempre el tipo más general. Para ello usa **variables de tipo**, que pueden ser sustituidas:

```
id  :: a → a
(+) :: Num a ⇒ a → a → a
(<) :: Ord a ⇒ a → a → Bool
```

Las variables pueden restringirse a pertenecer a una clase.

Variables de tipo

Haskell infiere siempre el tipo más general. Para ello usa **variables de tipo**, que pueden ser sustituidas:

```
id  :: a → a
(+) :: Num a ⇒ a → a → a
(<) :: Ord a ⇒ a → a → Bool
```

Las variables pueden restringirse a pertenecer a una clase.

- El espacio de nombres de las variables de tipo es independiente en cada declaración.
- Por convención se utilizan nombres cortos para las variables
- La clase de tipo `Ord` incluye tipos con relaciones de orden definidas.

Tipos algebraicos

Creamos nuevos tipos definiendo **constructores de datos**: funciones que devuelven valores del tipo que definimos.

```
data () = () -- Tipo None
data Bool = False | True
data Point = Point Float Float
data Triangle = Triangle Point Point Point
```


Los constructores se separan con `|`.
Podemos definir tipos que dependan de otros o tipos con constructores sin argumentos, como `Bool`.

Constructores de tipos

Los **constructores de tipos** son funciones sobre tipos: toman un tipo y devuelven otro.

```
"Haskell!" :: [Char]
[1,2,3,4] :: Num a ⇒ [a]
[True, False, False] :: [Bool]
[] :: [a]
Just True :: Maybe Bool
Nothing :: Maybe a
```


Constructores de tipos

Los **constructores de tipos** son funciones sobre tipos: toman un tipo y devuelven otro.

```
"Haskell!" :: [Char]
[1,2,3,4] :: Num a ⇒ [a]
[True, False, False] :: [Bool]
[] :: [a]
Just True :: Maybe Bool
Nothing :: Maybe a
```

`[]` construye listas, y `Maybe` construye un tipo que puede tener o no un valor. `->` es el constructor de funciones.

Aunque es posible, no es recomendable aplicar restricciones de clase a los tipos de entrada.

Constructores de tipos

Sus definiciones son:

```
data [a]      = [] | a:[a]
data Maybe a = Nothing | Just a
```

En las **listas**, el primer constructor es la lista vacía y el segundo antepone un elemento a otra lista.

En el caso de **Maybe** podemos tener algo de tipo a (`Just a`) o nada (`Nothing`).

Constructores de tipos

Sus definiciones son:

```
data [a]      = [] | a:[a]
data Maybe a = Nothing | Just a
```

En las **listas**, el primer constructor es la lista vacía y el segundo antepone un elemento a otra lista.

En el caso de **Maybe** podemos tener algo de tipo a (`Just a`) o nada (`Nothing`).

Las listas son flujos en otros lenguajes. Son puramente funcionales y perezosas.

Reconocimiento de patrones

Para definir una función sobre un tipo, definimos su comportamiento para cada constructor de datos del tipo:

```
neg :: Bool → Bool
neg False = True
neg True  = False
```

Podemos sustituir argumentos del constructor por variables:

```
factorial :: Integral a ⇒ a → a
factorial 0 = 1
factorial n = n * factorial (n - 1)
```


Cada entero es un constructor de tipos de `Int`. Las ecuaciones se evalúan en el orden en que aparecen, cambiando el orden de la segunda definición dejaría de funcionar.

Recursividad

Para calcular la **longitud de una lista**, definimos la función para sus dos constructores:

```
len :: Num a ⇒ [t] → a
len []     = 0
len (_:xs) = 1 + len xs
```

```
len [1,2,3]
```

```
len (1:2:3:[])
1 + len (2:3:[])
1 + 1 + len (3:[])
1 + 1 + 1 + len []
1 + 1 + 1 + 0
1 + 1 + 1
1 + 2
3
```


Recursividad

Para calcular la **longitud de una lista**, definimos la función para sus dos constructores:

```
len :: Num a ⇒ [t] → a
len []     = 0
len (_:xs) = 1 + len xs
```

```
len [1,2,3]
len (1:2:3:[])
1 + len (2:3:[])
1 + 1 + len (3:[])
1 + 1 + 1 + len []
1 + 1 + 1 + 0
1 + 1 + 1
1 + 2
3
```

- El tipo lista y las definiciones recursivas son la base de los programas de Haskell.
- Normalmente `[]` es el caso base y `:` la ecuación recursiva.
- No es la versión más eficiente porque no emplea recursión de cola; necesitaría un parámetro acumulador. Además da lugar a space leak.
- Ponemos el segundo constructor entre paréntesis para distinguir de una función que tomara 3 argumentos: _, , xs.

Currificación

¿Por qué `(+)` es de tipo `a -> a -> a` y no `(a,a) -> a`?

Esto nos permite aplicar parcialmente una función. El tipo hay que leerlo realmente como `a -> (a -> a)`, es decir, al darle un número nos devuelve otra función:

```
(+)     :: Num a ⇒ a → a → a
(+3)    :: Num a ⇒ a → a
(+3) 5  :: Num a ⇒ a
```

Es lo mismo decir `(+3) 5` que `(+) 3 5`.

Existen las funciones `curry` y `uncurry`.

Funciones de orden superior

`map` toma una función y devuelve su versión sobre listas:

```
map :: (a → b) → ([a] → [b])
```

Ejemplo: `map not [True, True, False]`

`foldr` toma una función, un acumulador y una lista y aplica los elementos de la lista contra el acumulador.

```
foldr :: (a → b → b) → b → [a] → b
```

Ejemplo: `foldr (*) 1 [2,3,5,7]`

▸ Definiciones

Funciones de orden superior
map toma una función y devuelve su versión sobre listas:
map :: (a → b) → ([a] → [b])
Ejemplo: map not [True, True, False]
foldr toma una función, un acumulador y una lista y aplica los elementos de la lista contra el acumulador.
foldr :: (a → b → b) → b → [a] → b
Ejemplo: foldr (*) 1 [2,3,5,7]
Definiciones

- Son funciones que toman funciones como argumento.
- `map` aplica la función a cada elemento de la lista.
- `map f = foldr ((:) . f) []`

Especialización

A partir de estas podemos crear funciones básicas:

```
negation  = map not
lowerText = map toLower
sum       = foldr (+) 0
product   = foldr (*) 1
concat    = foldr (++) []
and       = foldr (&&) True
```

Ejemplo: `lowerText "aBcDEfG"`

Especialización

A partir de estas podemos crear funciones básicas:

```
negation  = map not
lowerText = map toLower
sum       = foldr (+) 0
product   = foldr (*) 1
concat    = foldr (++) []
and       = foldr (&&) True
```

Ejemplo: `lowerText "aBcDEfG"`

Podemos escribirlas sin todos los argumentos por la currificación.

Evaluación perezosa

Haskell retrasa la evaluación de una expresión todo lo posible:

```
head [1..10**9]      -- Sólo evalua 1
```

Esto permite la modularización del código:

```
min :: Ord a => [a] -> a
min = head . sort
```

Y el uso de estructuras infinitas:

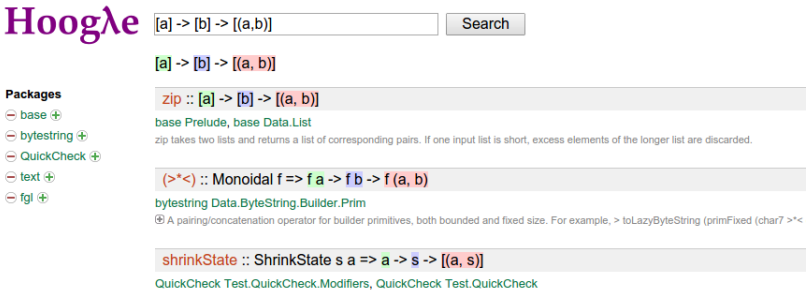
```
unos      = 1:unos
diezDoses = take 10 (map (+1) unos)
```


Evaluación perezosa
Haskell retrasa la evaluación de una expresión todo lo posible:
head [1..10**9] -- Sólo evalua 1
Esto permite la modularización del código:
min :: Ord a => [a] -> a
min = head . sort
Y el uso de estructuras infinitas:
unos = 1:unos
diezDoses = take 10 (map (+1) unos)

- Haskell comprueba el tipo de las expresiones (evaluando la WHNF) por lo que `length [1, 1/0, 2]` es válido pero `length [1, "dsf", 2]` no.
- min es $O(n) + O(n/2) + O(n/4) + ... = O(n)$

Hoogle

Hoogle permite buscar funciones por tipo entre las librerías estándar de Haskell:



Demostraciones

Como las funciones no tienen efectos secundarios, podemos razonar la corrección del código por inducción:

```
qsort []     = []
qsort (x:xs) = qsort [y | y<-xs, y<=x]
               ++ [x]
               ++ qsort [y | y<-xs, y>x]
```

Demostración: *Quicksort* funciona porque:

- ordena correctamente una lista vacía.
- la lista creada mantiene el orden entre las tres partes

Demostraciones

Como las funciones no tienen efectos secundarios, podemos razonar la corrección del código por inducción:

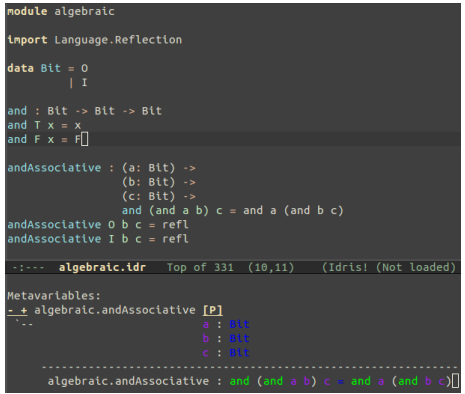
```
qsort []     = []
qsort (x:xs) = qsort [y | y<-xs, y<=x]
               ++ [x]
               ++ qsort [y | y<-xs, y>x]
```

Demostración: *Quicksort* funciona porque:

- ordena correctamente una lista vacía.
- la lista creada mantiene el orden entre las tres partes

Idris

Idris, construido con Haskell, es un lenguaje con su misma sintaxis pero incluyendo tipos dependientes para demostrar matemáticamente que los programas son correctos.



Curry-Howard

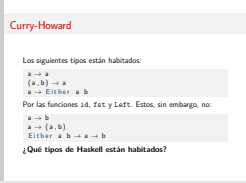
Los siguientes tipos están habitados:

```
a → a
(a,b) → a
a → Either a b
```

Por las funciones `id`, `fst` y `Left`. Estos, sin embargo, no:

```
a → b
a → (a,b)
Either a b → a → b
```

¿Qué tipos de Haskell están habitados?



No vale que estén habitados para un tipo concreto, necesitamos que haya algún elemento general para todos los tipos. Es lo que se nota en Haskell como:

```
forall a . a -> a
```

Necesitamos un elemento de este tipo en lugar de uno como:

```
Int -> Bool
```

Curry-Howard

A cada tipo le corresponde una proposición lógica, cambiando:

- `a -> b` por $a \Rightarrow b$
- `(a,b)` por $a \wedge b$
- `Either a b` por $a \vee b$
- `()` por *True*
- `Void` por *False*

¿Qué tipos de Haskell están habitados? Aquellos cuya proposición lógica asociada puede demostrarse verdadera en lógica intuicionista.

Curry-Howard

A cada tipo le corresponde una proposición lógica, cambiando:
- `a -> b` por $a \Rightarrow b$
- `(a,b)` por $a \wedge b$
- `Either a b` por $a \vee b$
- `()` por *True*
- `Void` por *False*

¿Qué tipos de Haskell están habitados? Aquellos cuya proposición lógica asociada puede demostrarse verdadera en lógica intuicionista.

La lógica intuicionista se creó para el programa constructivista de Brouwer. En ella, no se tiene el principio del tercio excluso ni la eliminación de la doble negación.

Mónadas

Las mónadas son constructores de tipos que definen un **contexto computacional**. Se definen con:

```
return :: a → m a
```

`return` introduce un valor de tipo a en el contexto.

```
>>= :: m a → (a → m b) → m b
```

Dado un valor en un contexto y una función que devuelve valores en el contexto, **¿Cómo podemos aplicar la función al valor?**-

Mónadas

Las mónadas son constructores de tipos que definen un **contexto computacional**. Se definen con:

return :: a → m a

return introduce un valor de tipo a en el contexto.

>>= :: m a → (a → m b) → m b

Dado un valor en un contexto y una función que devuelve valores en el contexto, **¿Cómo podemos aplicar la función al valor?**-

Mónadas: Maybe

La mónada `Maybe`, nos permite operar con funciones que pueden *fallar*:

```
return x = Just x -- return = Just
```

```
Just x  >>= f = f x
Nothing >>= _ = Nothing
```

Cuando hay un fallo no devolvemos nada, y cuando no, aplicamos la función al valor del interior de `Just`.

Mónadas: Maybe
La mónada Maybe, nos permite operar con funciones que pueden fallar:
return x = Just x -- return = Just
Just x >>= f = f x
Nothing >>= _ = Nothing
Cuando hay un fallo no devolvemos nada, y cuando no, aplicamos la función al valor del interior de Just.

Mónadas: IO

¿Cómo hacemos E/S con funciones puras?
Utilizamos la mónada `IO`:

```
main = readFile "file1" >>= writeFile "file2"
```

Todo programa de Haskell se ejecuta evaluando la función `main`, de tipo `IO ()`.

Mónadas: IO
¿Cómo hacemos E/S con funciones puras?
Utilizamos la mónada IO:
main = readFile "file1" >>= writeFile "file2"
Todo programa de Haskell se ejecuta evaluando la función main, de tipo IO ().

Su implementación es abstracta, pero nos permite componer acciones.

Funciones de orden superior

map:

```
map :: (a → b) → ([a] → [b])
map f []     = []
map f (x:xs) = f x : map f xs
```

foldr:

```
foldr :: (a → b → b) → b → [a] → b
foldr f z []     =  z
foldr f z (x:xs) =  f x (foldr f z xs)
```

◂ Funciones

Funciones de orden superior

map:

```
map :: (a → b) → ([a] → [b])
map f []     = []
map f (x:xs) = f x : map f xs
```

foldr:

```
foldr :: (a → b → b) → b → [a] → b
foldr f z []     =  z
foldr f z (x:xs) =  f x (foldr f z xs)
```

◂ Funciones