

Algoritmos y Estructuras de Datos I - Laboratorio

Proyecto 2

Tipos de datos

1. Objetivo

En este proyecto nos introducimos en la definición de nuestros propios tipos de datos. La importancia de poder definir nuevos tipos de datos reside en la facilidad con la que podemos modelar problemas y resolverlos usando las mismas herramientas que para los tipos pre-existentes.

El objetivo de este proyecto es aprender a declarar nuevos tipos de datos en Haskell y definir funciones para manipular expresiones que utilizan estos tipos.

2. Ejercicios

1. **Tipos enumerados.** Cuando los distintos valores que debemos distinguir en un tipo son finitos, podemos *enumerar* cada uno de los valores del tipo. Por ejemplo, podríamos representar las carreras que se dictan en nuestra facultad definiendo el siguiente tipo:

```
data Carrera = Matematica | Fisica | Computacion | Astronomia
```

Cada uno de estos valores es un *constructor*, ya que al utilizarlo en una expresión, generan un valor del tipo Carrera.

- a) Implementá el tipo Carrera como está definido arriba.
- b) Definí la siguiente función, usando *pattern matching*: `titulo :: Carrera -> String` que devuelve el nombre completo de la carrera en forma de *string*. Por ejemplo, para el constructor Matematica, debe devolver "Licenciatura en Matemática".
- c) Para escribir música se utiliza la denominada *notación musical*, la cual consta de notas (do, re, mi, ...). Además, estas notas pueden presentar algún modificador \sharp (sostenido) o \flat (bemol), por ejemplo *do \sharp* , *si \flat* , etc. Por ahora nos vamos a olvidar de estos modificadores (llamados alteraciones) y vamos a representar las notas básicas.

Definir el tipo NotaBasica con constructores Do, Re, Mi, Fa, Sol, La y Si

- d) El sistema de notación musical anglosajón, también conocido como notación o cifrado americano, relaciona las notas básicas con letras de la A a la G. Este sistema se usa por ejemplo para las tablaturas de guitarra. Programar usando *pattern matching* la función:

```
cifradoAmericano :: NotaBasica -> Char
```

que relaciona las notas Do, Re, Mi, Fa, Sol, La y Si con los caracteres 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'A' y 'B' respectivamente.

2. **Clases de tipos.** En Haskell usamos el operador (`==`) para comparar valores del mismo tipo:

```
*Main> 4 == 5
False
*Main> 3 == (2 + 1)
True
```

Sin embargo, si intentamos comparar dos valores del tipo `Carrera` veremos que el intérprete nos mostrará un error similar al siguiente:

```
*Main> Matematica == Matematica
• No instance for (Eq Carrera) arising from a use of '=='
```

El problema es que todavía no hemos equipado al tipo nuevo `Carrera` con una noción de igualdad entre sus valores. ¿Cómo logramos eso en Haskell? Debemos garantizar que el tipo `Carrera` sea un miembro de la *clase* `Eq`. Conceptualmente, una clase es un conjunto de tipos que proveen ciertas operaciones especiales:

- Clase `Eq`: tipos que proveen una noción de igualdad (operador `==`).
- Clase `Ord`: tipos que proveen una noción de orden (operadores `<=`, `>=`, funciones `min`, `max` y más).
- Clase `Bounded`: tipos proveen una cota superior y una cota inferior para sus valores. Tienen entonces un elemento más grande, definido como la constante `maxBound`, y un elemento más chico, definido como `minBound`.
- Clase `Show`: tipos que proveen una representación en forma de texto (función `show`).
- Muchísimas [más](#).

Podemos indicar al intérprete que infiera automáticamente la definición de una clase para un tipo dado en el momento de su definición, usando `deriving` como se muestra a continuación:

```
data Carrera = Matematica | Fisica | Computacion | Astronomia deriving Eq
```

Ahora es posible comparar carreras:

```
*Main> Matematica == Matematica
True
*Main> Matematica == Computacion
False
```

a) Completar la definición del tipo `NotaBasica` para que las expresiones

```
*Main> Do <= Re
*Main> Fa `min` Sol
```

sean válidas y no generen error. Ayuda: usar *deriving* con múltiples clases.

3. **Polimorfismo ad hoc** Recordemos la función `sumatoria` del proyecto anterior:

```
sumatoria :: [Int] -> Int
sumatoria [] = 0
sumatoria (x:xs) = x + sumatoria xs
```

La función suma todos los elementos de una lista. Está claro que el algoritmo que se debe seguir para sumar una lista de números enteros y el algoritmo para sumar una lista de números decimales es idéntico. Ahora, si queremos sumar números decimales de tipo Float usando nuestra función:

```
*Main> sumatoria [1.5, 2.7, 0.8 :: Float]
      Couldn't match expected type 'Int' with actual type 'Float'
      (:)
```

El error era previsible ya que sumatoria no es polimórfica. Si tratamos de usar polimorfismo paramétrico:

```
sumatoria :: [a] -> a
sumatoria [] = 0
sumatoria (x:xs) = x + sumatoria xs
```

cuando recarguemos la definición de sumatoria:

```
*Main> :r
      No instance for (Num a) arising from a use of '+'
      (:)
      No instance for (Num a) arising from the literal '0'
      (:)
```

Esto sucede porque en la definición, la variable de tipo a no tiene ninguna restricción, por lo que el tipo no tiene que tener definida necesariamente la suma (+) ni la constante 0. El algoritmo de la función sumatoria mientras trabaje con tipos numéricos como Int, Integer, Float, Double debería funcionar bien. Todos estos tipos numéricos (y otros más) son justamente los que están en la clase Num. Para restringir el polimorfismo de la variable a a esa clase de tipo se escribe:

```
sumatoria :: Num a => [a] -> a
sumatoria [] = 0
sumatoria (x:xs) = x + sumatoria xs
```

Este tipo de definiciones se llaman *polimorfismo ad hoc*, ya que no es una definición completamente genérica.

- a) Definir usando polimorfismo *ad hoc* la función minimoElemento que calcula (de manera recursiva) cuál es el menor valor de una lista de tipo [a]. Asegurarse que sólo esté definida para listas no vacías.
- b) Definir la función minimoElemento' de manera tal que el caso base de la recursión sea el de la lista vacía. Para ello revisar la clase Bounded.

Ayuda: Para probar esta función dentro de ghci con listas vacías, indicar el tipo concreto con tipos de la clase Bounded, por ejemplo: ([1,5,10] :: [Int]), ([] :: [Bool]), etc.

- c) Usar la función minimoElemento para determinar la nota más grave de la melodía: [Fa, La, Sol, Re, Fa]

En las definiciones de los ejercicios siguientes, deben agregar *deriving* sólo cuando sea estrictamente necesario.

4. **Sinónimo de tipos; constructores con parámetros.** En este ejercicio, introducimos dos conceptos: los sinónimos de tipos y tipos algebraicos cuyos constructores llevan argumentos. Un sinónimo de tipo nos permite definir un nuevo nombre para un tipo ya existente, como el ya conocido tipo `String` que no es otra cosa que un sinónimo para `[Char]`. Por ejemplo, si queremos modelar el año de ingreso de un estudiante a una carrera, podemos definir:

```
— Ingreso es un sinonimo de tipo.  
type Ingreso = Int
```

Los tipos algebraicos tienen constructores que llevan parámetros. Esos parámetros permiten agregar información, generando potencialmente infinitos valores dentro del tipo. Por ejemplo, si queremos modelar los roles de las diferentes personas que son miembros de la comunidad de nuestra facultad, podríamos definir los siguientes tipos:

```
— Cargo y Area son tipos enumerados  
data Cargo = Titular | Asociado | Adjunto | Asistente | Auxiliar  
data Area = Administrativa | Ensenanza | Economica | Postgrado  
  
— Persona es un tipo algebraico  
data Persona = Decane  
              | Docente Cargo  
              | NoDocente Area  
              | Estudiante Carrera Ingreso  
              — constructor sin argumento  
              — constructor con un argumento  
              — constructor con un argumento  
              — constructor con dos argumentos
```

- a) Implementá los tipos `Ingreso`, `Cargo`, `Area` y `Persona` como están definidos arriba.
- b) ¿Cuál es el tipo del constructor `Docente`?
- c) Programá la función `cuantos_doc :: [Persona] -> Cargo -> Int` que dada una lista de personas `xs`, y un cargo `c`, devuelve la cantidad de docentes incluidos en `xs` que poseen el cargo `c`.
- d) ¿La función anterior usa `filter`? Si no es así, reprogramala para usarla.
5. **Definición de clases.** Vamos ahora a representar la notas musicales con sus alteraciones. Como mencionamos antes, las notas musicales pueden (o no) tener alteraciones. La alteración sostenido (\sharp) sube ligeramente la afinación (un semitono), por otro lado un bemol (\flat) baja en la misma medida la afinación de la nota. Definimos entonces los tipos:

```
data Alteracion = Bemol | Sostenido | Natural  
data NotaMusical = Nota NotaBasica Alteracion
```

El constructor `Natural` del tipo `Alteracion` indica que la nota no está alterada (no tiene sostenido ni bemol). Desde que se utiliza el *sistema temperado* (desde mediados de siglo XVIII aprox) se considera que hay 12 sonidos que se obtienen a partir de las notas musicales. Considerando la nota `Do` como el primer sonido, definimos la función:

```
sonido :: NotaBasica -> Int  
sonido Do = 1  
sonido Re = 3  
sonido Mi = 5  
sonido Fa = 6  
sonido Sol = 8  
sonido La = 10  
sonido Si = 12
```

- a) Implementá los tipos `NotaMusical`, `Alteracion` y la función `sonido` como están definidos arriba.

- b) Definí la función `sonidoCromatico :: NotaMusical -> Int` que devuelve el sonido de una nota, incrementando en uno su valor si tiene la alteración `Sostenido`, decrementando en uno si tiene la alteración `Bemo1` y dejando su valor intacto si la alteración es `Natural`.
- c) Incluí el tipo `NotaMusical` a la clase `Eq` de manera tal que dos notas que tengan el mismo valor de `sonidoCromatico` se consideren iguales.
- d) Incluí el tipo `NotaMusical` a la clase `Ord` definiendo el operador `<=`. Se debe definir que una nota es menor o igual a otra si y sólo si el valor de `sonidoCromatico` para la primera es menor o igual al valor de `sonidoCromatico` para la segunda.

6. Tipos enumerados con polimorfismo.

Usualmente nos encontramos con funciones que no están definidas para ciertos valores de su dominio. Por ejemplo, consideremos la siguiente función:

```
dividir :: Int -> Int -> Int
dividir x y = x `div` y
```

Podemos ver que, como la división por 0 no está definida, el intérprete de Haskell nos muestra un error:

```
$> dividir 4 0
*** Exception: divide by zero
```

¿Cómo podríamos cambiar la definición anterior para que la misma esté definida en todo el dominio? Podríamos usar el tipo `Maybe` que se define en el Preludio de Haskell:

```
data Maybe a = Nothing | Just a
```

Para indicar que la división entera 'no tiene valor' cuando el denominador es 0, usamos el constructor `Nothing`. Cuando tiene valor definido, usamos el constructor `Just`.

```
dividir :: Int -> Int -> Maybe Int
dividir x 0 = Nothing
dividir x y = Just (x `div` y)
```

Y esta vez no recibimos un error si usamos el 0 como denominador:

```
$> dividir 4 0
Nothing
```

```
$> dividir 4 2
Just 2
```

Notar en la definición anterior que `Maybe a` es un tipo que depende de la variable `a`, y en consecuencia `Maybe` es un constructor de tipos polimórfico.

- a) Definir la función `primerElemento` que devuelve el primer elemento de una lista no vacía, o `Nothing` si la lista es vacía.

```
primerElemento :: [a] -> Maybe a
```

7. **Tipos recursivos.** Supongamos que queremos representar una *cola* de personas de la comunidad universitaria, como aquellas que forman fila para ser atendidas en el comedor. Una persona llega y se coloca al final de la cola. El orden de atención respeta el orden de llegada, es decir, quien primero llega, es atendido primero. Podemos representar esta situación con el siguiente tipo:

```
data Cola = VacíaC | Encolada Persona Cola
```

En esta definición, el tipo que estamos definiendo (*Cola*) aparece como un parámetro de uno de sus constructores; por ello se dice que el tipo es *recursivo*. Así una cola o bien está vacía, o bien contiene a una persona encolada, seguida del resto de la cola. Esto nos permite representar colas cuya longitud no conocemos *a priori* y que pueden ser arbitrariamente largas.

a) Programá las siguientes funciones:

- 1) *atender* :: *Cola* -> *Maybe Cola*, que elimina de la cola a la persona que está en la primer posición de una cola, por haber sido atendida. Si la cola está vacía, devuelve *Nothing*.
- 2) *encolar* :: *Persona* -> *Cola* -> *Cola*, que agrega una persona a una cola de personas, en la última posición.
- 3) *busca* :: *Cola* -> *Cargo* -> *Maybe Persona*, que devuelve el primer docente dentro de la cola que tiene un cargo que se corresponde con el segundo parámetro. Si esa persona no existe, devuelve *Nothing*.

b) ¿A qué otro tipo se parece *Cola*?

8. **Tipos recursivos y polimórficos.** Consideremos los siguientes problemas:

- Encontrar la definición de una palabra en un diccionario;
- encontrar el lugar de votación de una persona.

Ambos problemas se resuelven eficientemente, usando un diccionario o un padrón electoral. Estos almacenan la información *asociandola* a otra que se conoce; en el caso del padrón será el número de documento, mientras que en el diccionario será la palabra en sí.

Puesto que reconocemos la similitud entre un caso y el otro, deberíamos esperar poder representar con un único tipo de datos ambas situaciones; es decir, necesitamos un tipo polimórfico que asocie a un dato bien conocido (la clave) la información relevante (el dato).

Una forma posible de representar esta situación es con el tipo de datos recursivo *lista de asociaciones* definido como:

```
data ListaAsoc a b = Vacía | Nodo a b (ListaAsoc a b)
```

Los parámetros del tipo *ListaAsoc* *a* y *b* indican que se trata de un tipo *polimórfico*. Tanto *a* como *b* son variables de tipo, y se pueden *instanciar* con distintos tipos, por ejemplo:

```
type Diccionario = ListaAsoc String String
type Padron      = ListaAsoc Int    String
```

- a) ¿Cómo se debe instanciar el tipo *ListaAsoc* para representar la información almacenada en una guía telefónica?
- b) Programá las siguientes funciones:

- 1) Programar la función `la_long :: ListaAsoc a b -> Int` que devuelve la cantidad de datos en una lista.
 - 2) `la_concat :: ListaAsoc a b -> ListaAsoc a b -> ListaAsoc a b`, que devuelve la concatenación de dos listas de asociación.
 - 3) `la_agregar :: Eq a => ListaAsoc a b -> a -> b -> ListaAsoc a b`, que agrega un nodo a la lista de asociaciones si la clave no está en la lista, o actualiza el valor si la clave ya se encontraba.
 - 4) `la_pares :: ListaAsoc a b -> [(a, b)]` que transforma una lista de asociación en una lista de pares *clave-dato*.
 - 5) `la_busca :: Eq a => ListaAsoc a b -> a -> Maybe b` que dada una lista y una clave devuelve el dato asociado, si es que existe. En caso contrario devuelve `Nothing`.
 - 6) `la_borrar :: Eq a => a -> ListaAsoc a b -> ListaAsoc a b` que dada una clave *a* elimina la entrada en la lista.
9. (Punto ★) Otro tipo de datos muy útil y que se puede usar para representar muchas situaciones es el *árbol*; por ejemplo, el análisis sintáctico de una oración, una estructura jerárquica como un árbol genealógico o la taxonomía de Linneo.

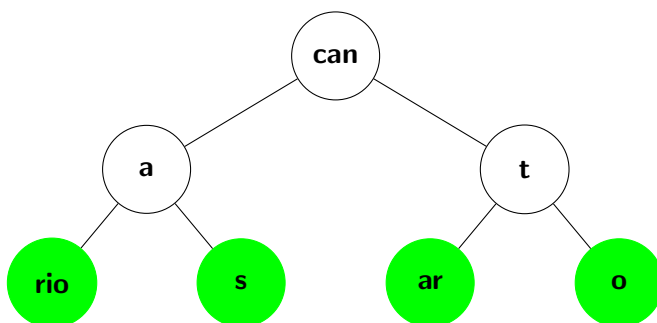
En este ejercicio consideramos *árboles binarios*, es decir que cada *rama* tiene sólo dos descendientes inmediatos:

```
data Arbol a = Hoja | Rama (Arbol a) a (Arbol a)
```

Como se muestra a continuación, usando ese tipo de datos podemos por ejemplo representar los prefijos comunes de varias palabras.

```
type Prefijos = Arbol String

can, cana, canario, canas, cant, cantar, canto :: Prefijos
can      = Rama cana "can" cant
cana     = Rama canario "a" canas
canario  = Rama Hoja "rio" Hoja
canas    = Rama Hoja "s" Hoja
cant     = Rama cantar "t" canto
cantar   = Rama Hoja "ar" Hoja
canto    = Rama Hoja "o" Hoja
```



Programá las siguientes funciones:

- a) `a_long :: Arbol a -> Int` que dado un árbol devuelve la cantidad de datos almacenados.
- b) `a_hojas :: Arbol a -> Int` que dado un árbol devuelve la cantidad de hojas.

- c) `a_inc :: Num a => Arbol a -> Arbol a` que dado un árbol que contiene números, los incrementa en uno.
- d) `a_map :: (a -> b) -> Arbol a -> Arbol b` que dada una función y un árbol, devuelve el árbol con la misma estructura, que resulta de aplicar la función a cada uno de los elementos del árbol. Revisá la definición de la función anterior y reprogramala usando `a_map`.