

Fundamentos de Programación Funcional y Concurrente

Listas

Juan Francisco Díaz Frias

Profesor Titular (1993-hoy)
juanfco.diaz@correounivalle.edu.co
Edif. B13 - 4009



Universidad del Valle

Septiembre 2025

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Interpretador de expresiones aritméticas

- Se quiere escribir un interpretador de expresiones aritméticas.
- Para hacerlo sencillo, se restringirá inicialmente sólo a números y sumas.
- Las expresiones se pueden representar con una jerarquía de clases: una clase (trait) base *Expr* y dos subclases *Numero* y *Suma*.
- Para manipular una expresión se hace necesario conocer su forma y sus componentes.

Interpretador de expresiones aritméticas

- Se quiere escribir un interpretador de expresiones aritméticas.
- Para hacerlo sencillo, se restringirá inicialmente sólo a números y sumas.
- Las expresiones se pueden representar con una jerarquía de clases: una clase (trait) base *Expr* y dos subclases *Numero* y *Suma*.
- Para manipular una expresión se hace necesario conocer su forma y sus componentes.

Interpretador de expresiones aritméticas

- Se quiere escribir un interpretador de expresiones aritméticas.
- Para hacerlo sencillo, se restringirá inicialmente sólo a números y sumas.
- Las expresiones se pueden representar con una jerarquía de clases: una clase (trait) base *Expr* y dos subclases *Numero* y *Suma*.
- Para manipular una expresión se hace necesario conocer su forma y sus componentes.

Interpretador de expresiones aritméticas

- Se quiere escribir un interpretador de expresiones aritméticas.
- Para hacerlo sencillo, se restringirá inicialmente sólo a números y sumas.
- Las expresiones se pueden representar con una jerarquía de clases: una clase (trait) base *Expr* y dos subclases *Numero* y *Suma*.
- Para manipular una expresión se hace necesario conocer su forma y sus componentes.

Expresiones

- La clase *Expr*:

```
0 trait Expr {  
1   def: esNumero: Boolean  
2   def esSuma: Boolean  
3   def valorNum: Int  
4   def oplzq: Expr  
5   def opDer: Expr  
6 }
```

- Las clases *Suma* y *Numero*:

```
0 class Numero(n:Int) extends Expr {  
1   def: esNumero: Boolean = true  
2   def esSuma: Boolean = false  
3   def valorNum: Int = n  
4   def oplzq: Expr = throw new Error("Numero.oplLzq")  
5   def opDer: Expr = throw new Error("Numero.oplDer")  
6 }  
7 class Suma(e1:Expr, e2:Expr) extends Expr {  
8   def: esNumero: Boolean = false  
9   def esSuma: Boolean = true  
10  def valorNum: Int = throw new Error("Suma.valorNum")  
11  def oplzq: Expr = e1  
12  def opDer: Expr = e2  
13 }
```

Evaluación de Expresiones

- Ahora se quiere escribir una función que evalúe expresiones:

```
0  def eval(e: Expr): Int {  
1    if (e.esNumero) e.valorNum  
2    else if (e.esSuma) eval(e.opIzq) + eval(e.opDer)  
3        else throw new Error("Expresión desconocida." + e)  
4  }
```

- Problema:

Escribir todas estas funciones de clasificación y de acceso, se vuelve rápidamente tedioso. ¿Cuántos métodos nuevos se necesitan para incluir, por ejemplo, dos nuevas expresiones *Prod* y *Var*?

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - **Reconocimiento de patrones**
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Descomposición funcional usando reconocimiento de patrones

- La única razón por la que se necesitan tantas funciones de clasificación y de acceso, es poder **reversar el proceso de construcción** de una expresión:
 - ¿Qué subclase se usó en el proceso?
 - ¿Cuáles fueron los argumentos usados por el constructor en el proceso?
- Esta situación es tan común, que muchos lenguajes de programación la automatizan: **reconocimiento de patrones**
- Una **clase case** es similar a una clase normal, salvo que viene precedida por la palabra **case**:

```
0 trait Expr
1 case class Numero (n:Int) extends Expr
2 case class Suma(e1:Expr, e2:Expr) extends Expr
```

Igual que antes, se define un *trait Expr* y dos subclases *Numero* y *Suma*.

Clases *case*

- Las clases *case* para este caso son:

```
0 trait Expr
1 case class Numero (n: Int) extends Expr
2 case class Suma (e1: Expr, e2: Expr) extends Expr
```

- Esta declaración, define implícitamente dos objetos complementarios con métodos *apply*:

```
0 object Numero {
1   def apply(n: Int) = new Numero(n)
2 }
3 object Suma {
4   def apply(e1: Expr, e2: Expr) = new Suma(e1, e2)
5 }
```

de tal forma que se puede escribir *Numero(1)* en lugar de *newNumero(1)*.

- Pero estas clases están vacías. ¿Cómo acceder ahora a sus miembros?

Reconocimiento de patrones

- El reconocimiento de patrones es una generalización del *Switch* de C/Java, para jerarquías de clases.

En Scala, se usa a través de la expresión *match*:

```
0 def eval(e: Expr): Int = e match {  
1   case Numero(n) => n  
2   case Suma(e1, e2) => eval(e1) + eval(e2)  
3   case Prod(e1, e2) => eval(e1) * eval(e2)  
4 }
```

- match* va precedido por una expresión *e* y seguido por una secuencia de **casos**, sintácticamente escritos de la forma *case* *< pat >* *=>* *< expr >* .
- Cada caso asocia un patrón *< pat >* con una expresión *< expr >*. Intuitivamente, si el resultado de evaluar *e* cumple el patrón *< pat >*, se devuelve el resultado de evaluar *< expr >*.
- Si el resultado de evaluar *e* no cumple con ningún patrón, se lanzará una excepción *MatchError*.

Formas de los patrones

- Los patrones se construyen a partir de:
 - Constructores de objetos, e.g. *Numero*, *Suma*, ...
 - Variables, e.g. *e*, *n*, *e*₁, *e*₂, ...
 - Comodines, e.g. *_*
 - Constantes, e.g. *1*, *true*
- Las variables, en los patrones, siempre empiezan por una letra minúscula.
- El mismo nombre de variable no puede aparecer dos o más veces en un mismo patrón. Por ejemplo, *Suma*(*x*, *x*) no es un patrón admitido.
- Los nombres de constantes deben empezar con letra mayúscula, a excepción de las palabras reservadas *true*, *false*, *null*

Formas de los patrones

- Los patrones se construyen a partir de:
 - Constructores de objetos, e.g. *Numero*, *Suma*, ...
 - Variables, e.g. *e*, *n*, *e*₁, *e*₂, ...
 - Comodines, e.g. *_*
 - Constantes, e.g. *1*, *true*
- Las variables, en los patrones, siempre empiezan por una letra minúscula.
- El mismo nombre de variable no puede aparecer dos o más veces en un mismo patrón. Por ejemplo, *Suma*(*x*, *x*) no es un patrón admitido.
- Los nombres de constantes deben empezar con letra mayúscula, a excepción de las palabras reservadas *true*, *false*, *null*

Formas de los patrones

- Los patrones se construyen a partir de:
 - Constructores de objetos, e.g. *Numero*, *Suma*, ...
 - Variables, e.g. *e*, *n*, *e*₁, *e*₂, ...
 - Comodines, e.g. *_*
 - Constantes, e.g. *1*, *true*
- Las variables, en los patrones, siempre empiezan por una letra minúscula.
- El mismo nombre de variable no puede aparecer dos o más veces en un mismo patrón. Por ejemplo, *Suma*(*x*, *x*) no es un patrón admitido.
- Los nombres de constantes deben empezar con letra mayúscula, a excepción de las palabras reservadas *true*, *false*, *null*

Formas de los patrones

- Los patrones se construyen a partir de:
 - Constructores de objetos, e.g. *Numero*, *Suma*, ...
 - Variables, e.g. *e*, *n*, *e₁*, *e₂*, ...
 - Comodines, e.g. *_*
 - Constantes, e.g. *1*, *true*
- Las variables, en los patrones, siempre empiezan por una letra minúscula.
- El mismo nombre de variable no puede aparecer dos o más veces en un mismo patrón. Por ejemplo, *Suma*(*x*, *x*) no es un patrón admitido.
- Los nombres de constantes deben empezar con letra mayúscula, a excepción de las palabras reservadas *true*, *false*, *null*

Evaluación de expresiones *match*

- Una expresión de la forma:

$$e \text{ match } \{ \text{case } p_1 \Rightarrow e_1 \dots \text{case } p_n \Rightarrow e_n \}$$

busca hacer corresponder el valor de la evaluación de e con alguno de los patrones p_1, \dots, p_n en el orden en que aparecen.

- Digamos que p_k es el primer patrón que corresponde con la evaluación de e . La expresión completa se substituye por e_k , haciendo las substituciones a que haya lugar a causa de esa correspondencia.
- Específicamente, las referencias a variables del patrón dentro de e_k se substituyen por los valores con que se logró la correspondencia.

Evaluación de expresiones *match*

- Una expresión de la forma:

$$e \text{ match } \{ \text{case } p_1 \Rightarrow e_1 \dots \text{case } p_n \Rightarrow e_n \}$$

busca hacer corresponder el valor de la evaluación de e con alguno de los patrones p_1, \dots, p_n en el orden en que aparecen.

- Digamos que p_k es el primer patrón que corresponde con la evaluación de e . La expresión completa se substituye por e_k , haciendo las substituciones a que haya lugar a causa de esa correspondencia.
- Específicamente, las referencias a variables del patrón dentro de e_k se substituyen por los valores con que se logró la correspondencia.

Evaluación de expresiones *match*

- Una expresión de la forma:

$$e \text{ match } \{ \text{case } p_1 \Rightarrow e_1 \dots \text{case } p_n \Rightarrow e_n \}$$

busca hacer corresponder el valor de la evaluación de e con alguno de los patrones p_1, \dots, p_n en el orden en que aparecen.

- Digamos que p_k es el primer patrón que corresponde con la evaluación de e . La expresión completa se substituye por e_k , haciendo las substituciones a que haya lugar a causa de esa correspondencia.
- Específicamente, las referencias a variables del patrón dentro de e_k se substituyen por los valores con que se logró la correspondencia.

¿Cómo se corresponden los patrones y los valores?

- Un patrón construido a partir de un constructor: $C(p_1, \dots, p_n)$ se corresponde con los valores del tipo C (o de un subtipo) que haya sido construido con unos argumentos que se corresponden, cada uno, con los patrones p_1, \dots, p_n .
- Un patrón construido con una variable x se corresponde con cualquier valor, y tiene como efecto **ligar** la variable x con ese valor.
- Un patrón construido con un comodín x se corresponde con cualquier valor (igual al caso de variables, pero no se produce ligadura alguna).
- Un patrón construido con una constante C se corresponde con cualquier valor que sea igual (en el sentido $==$) a esa constante.

¿Cómo se corresponden los patrones y los valores?

- Un patrón construido a partir de un constructor: $C(p_1, \dots, p_n)$ se corresponde con los valores del tipo C (o de un subtipo) que haya sido construido con unos argumentos que se corresponden, cada uno, con los patrones p_1, \dots, p_n .
- Un patrón construido con una variable x se corresponde con cualquier valor, y tiene como efecto **ligar** la variable x con ese valor.
- Un patrón construido con un comodín x se corresponde con cualquier valor (igual al caso de variables, pero no se produce ligadura alguna).
- Un patrón construido con una constante C se corresponde con cualquier valor que sea igual (en el sentido $==$) a esa constante.

¿Cómo se corresponden los patrones y los valores?

- Un patrón construido a partir de un constructor: $C(p_1, \dots, p_n)$ se corresponde con los valores del tipo C (o de un subtipo) que haya sido construido con unos argumentos que se corresponden, cada uno, con los patrones p_1, \dots, p_n .
- Un patrón construido con una variable x se corresponde con cualquier valor, y tiene como efecto **ligar** la variable x con ese valor.
- Un patrón construido con un comodín x se corresponde con cualquier valor (igual al caso de variables, pero no se produce ligadura alguna).
- Un patrón construido con una constante C se corresponde con cualquier valor que sea igual (en el sentido $==$) a esa constante.

¿Cómo se corresponden los patrones y los valores?

- Un patrón construido a partir de un constructor: $C(p_1, \dots, p_n)$ se corresponde con los valores del tipo C (o de un subtipo) que haya sido construido con unos argumentos que se corresponden, cada uno, con los patrones p_1, \dots, p_n .
- Un patrón construido con una variable x se corresponde con cualquier valor, y tiene como efecto **ligar** la variable x con ese valor.
- Un patrón construido con un comodín x se corresponde con cualquier valor (igual al caso de variables, pero no se produce ligadura alguna).
- Un patrón construido con una constante C se corresponde con cualquier valor que sea igual (en el sentido $==$) a esa constante.

Ejemplo de evaluación de correspondencia de patrones

Recordemos *eval*:

```
0 def eval(e:Expr):Int = e match {  
1   case Numero(n) => n  
2   case Suma(e1,e2) => eval(e1) + eval(e2)  
3   case Prod(e1,e2) => eval(e1) * eval(e2)  
4 }
```

```
eval(Suma(Numero(1), Numero(2)))  
→ Suma(Numero(1), Numero(2)) match {  
  case Numero(n) => n  
  case Suma(e1, e2) => eval(e1) + eval(e2)  
  case Prod(e1, e2) => eval(e1) * eval(e2)  
}  
→ eval(Numero(1)) + eval(Numero(2))  
→ Numero(1) match {  
  case Numero(n) => n  
  case Suma(e1, e2) => eval(e1) + eval(e2)  
  case Prod(e1, e2) => eval(e1) * eval(e2)  
} + eval(Numero(2))  
→ 1 + eval(Numero(2))  
→ 1 + 2  
→ 3
```

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Listas

- La **lista** es una **estructura de datos fundamental** para la programación funcional.
- La lista que tiene los elementos x_1, \dots, x_n se escribe en Scala $List(x_1, \dots, x_n)$
- Ejemplos:

```
0 val frutas = List("manzana", "lulo", "guayaba")
1 val numeros = List(1, 2, 3, 4)
2 val IDE1 = List(List(1, 0, 0), List(0, 1, 0), List(0, 0, 1))
3 val vacia = List()
```

- Dos características importantes de las listas: son **inmutables** y son **recursivas**.

El tipo Lista

- Las listas son **homogéneas**: todos sus elementos deben ser del mismo tipo.
- El tipo de una lista de elementos del tipo T es *scala.List[T]* o, en versión corta. *List[T]*
- Ejemplos:

```
0 scala> val frutas = List("manzana", "lulo", "guayaba")
1       | val numeros = List(1, 2, 3, 4)
2       | val IDEI = List(List(1, 0, 0), List(0, 1, 0), List(0, 0, 1))
3       | val vacia = List()
4 val frutas: List[String] = List(manzana, lulo, guayaba)
5 val numeros: List[Int] = List(1, 2, 3, 4)
6 val IDEI: List[List[Int]] = List(List(1, 0, 0), List(0, 1, 0), List(0, 0, 1))
7 val vacia: List[Nothing] = List()
```

Los constructores de listas

- Las listas se construyen a partir de dos constructores:
 - La lista vacía *Nil*, y
 - El operador de construcción *::* (se pronuncia *cons*):

x :: xs

construye una lista cuyo primer elemento es *x*, y cuyo resto de elementos es la lista *xs*.

- Ejemplos:

```
0 scala> val frutas = "manzana" :: "lulo" :: "guayaba" :: Nil
1       | val numeros = 1 :: 2 :: 3 :: 4 :: Nil
2       | val IDE1 = (1::0::0::Nil) :: (0::1::0::Nil) :: (0::0::1::Nil) :: Nil
3       | val vacia = Nil
4 val frutas: List[String] = List(manzana, lulo, guayaba)
5 val numeros: List[Int] = List(1, 2, 3, 4)
6 val IDE1: List[List[Int]] = List(List(1, 0, 0), List(0, 1, 0), List(0, 0, 1))
7 val vacia: collection.immutable.Nil.type = List()
```

Asociatividad a la derecha

- Por convención, los operadores que terminan en ":" son asociativos a derecha, es decir: $A :: B :: C$ se interpreta como $A :: (B :: C)$
Por ejemplo:

```
0 scala> val numeros = 1 :: 2 :: 3 :: 4 :: Nil
1 val numeros: List[Int] = List(1, 2, 3, 4)
```

es lo mismo que escribir:

```
0 scala> val numeros = 1 :: (2 :: (3 :: (4 :: Nil)))
1 val numeros: List[Int] = List(1, 2, 3, 4)
```

- Los operadores que terminan en ":" también son diferentes en cuanto a que ellos son vistos como invocadores de métodos del operando del lado derecho, es decir, el ejemplo de arriba es equivalente a:

```
0 scala> Nil.(4).(3).(2).(1)
1 val res5: List[Int] = List(1, 2, 3, 4)
```


Operaciones sobre listas

- Todas las operaciones sobre las listas, se implementan a partir de las constructoras de listas y de las siguientes operaciones selectoras:
 - *head*: devuelve el primer elemento de una lista
 - *tail*: devuelve la lista sin el primer elemento (el *resto* de la lista)
 - *isEmpty*: devuelve *true* si la lista es vacía y *false* si no.
- Todas estas operaciones son métodos de los objetos de tipo Lista:

```
0 scala> frutas.head
1 val res6: String = manzana
2
3 scala> frutas.tail
4 val res7: List[String] = List(lulo , guayaba)
5
6 scala> frutas.tail.head
7 val res8: String = lulo
8
9 scala> frutas.tail.tail.head
10 val res9: String = guayaba
11
12 scala> frutas.tail.tail.tail.head
13 java.util.NoSuchElementException: head of empty list
14
15 scala> frutas.tail.tail.tail.tail
16 java.lang.UnsupportedOperationException: tail of empty list
```

Patrones de listas

- Es posible descomponer las listas con reconocimiento de patrones:
 - *Nil*: el patrón constante *Nil*
 - $p :: ps$: un patrón que hace corresponder la cabeza de la lista con el patrón p y la cola de la lista con el patrón ps . Este patrón, por ejemplo, no hace correspondencia con una lista vacía.
 - $List(p_1, \dots, p_n)$: es una abreviación del patrón $p_1 :: p_2 :: \dots :: p_n :: Nil$
- Por ejemplo:
 - $1 :: 2 :: xs$: es un patrón que corresponde con las listas de al menos dos elementos, cuyo primer elemento es el 1 y el segundo es el 2.
 - $x :: Nil$: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento.

Patrones de listas

- Es posible descomponer las listas con reconocimiento de patrones:
 - *Nil*: el patrón constante *Nil*
 - *p :: ps*: un patrón que hace corresponder la cabeza de la lista con el patrón *p* y la cola de la lista con el patrón *ps*. Este patrón, por ejemplo, no hace correspondencia con una lista vacía.
 - *List(p₁, ..., p_n)*: es una abreviación del patrón
 $p_1 :: p_2 :: \dots :: p_n :: Nil$
- Por ejemplo:
 - *1 :: 2 :: xs*: es un patrón que corresponde con las listas de al menos dos elementos, cuyo primer elemento es el 1 y el segundo es el 2.
 - *x :: Nil*: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento.
 - *List(x)*: idéntico al patrón anterior
 - *List()*: idéntico al patrón *Nil*.
 - *List(2 :: xs)*: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento, y ese elemento es una lista que comienza con 2.

Patrones de listas

- Es posible descomponer las listas con reconocimiento de patrones:
 - *Nil*: el patrón constante *Nil*
 - *p :: ps*: un patrón que hace corresponder la cabeza de la lista con el patrón *p* y la cola de la lista con el patrón *ps*. Este patrón, por ejemplo, no hace correspondencia con una lista vacía.
 - *List(p₁, ..., p_n)*: es una abreviación del patrón
 $p_1 :: p_2 :: \dots :: p_n :: Nil$
- Por ejemplo:
 - *1 :: 2 :: xs*: es un patrón que corresponde con las listas de al menos dos elementos, cuyo primer elemento es el 1 y el segundo es el 2.
 - *x :: Nil*: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento.
 - *List(x)*: idéntico al patrón anterior
 - *List()*: idéntico al patrón *Nil*.
 - *List(2 :: xs)*: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento, y ese elemento es una lista que comienza con 2.

Patrones de listas

- Es posible descomponer las listas con reconocimiento de patrones:
 - *Nil*: el patrón constante *Nil*
 - $p :: ps$: un patrón que hace corresponder la cabeza de la lista con el patrón p y la cola de la lista con el patrón ps . Este patrón, por ejemplo, no hace correspondencia con una lista vacía.
 - $List(p_1, \dots, p_n)$: es una abreviación del patrón $p_1 :: p_2 :: \dots :: p_n :: Nil$
- Por ejemplo:
 - $1 :: 2 :: xs$: es un patrón que corresponde con las listas de al menos dos elementos, cuyo primer elemento es el 1 y el segundo es el 2.
 - $x :: Nil$: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento.
 - $List(x)$: idéntico al patrón anterior
 - $List()$: idéntico al patrón *Nil*.
 - $List(2 :: xs)$: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento, y ese elemento es una lista que comienza con 2.

Patrones de listas

- Es posible descomponer las listas con reconocimiento de patrones:
 - *Nil*: el patrón constante *Nil*
 - *p :: ps*: un patrón que hace corresponder la cabeza de la lista con el patrón *p* y la cola de la lista con el patrón *ps*. Este patrón, por ejemplo, no hace correspondencia con una lista vacía.
 - *List(p₁, ..., p_n)*: es una abreviación del patrón
 $p_1 :: p_2 :: \dots :: p_n :: Nil$
- Por ejemplo:
 - $1 :: 2 :: xs$: es un patrón que corresponde con las listas de al menos dos elementos, cuyo primer elemento es el 1 y el segundo es el 2.
 - $x :: Nil$: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento.
 - *List(x)*: idéntico al patrón anterior
 - *List()*: idéntico al patrón *Nil*.
 - *List(2 :: xs)*: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento, y ese elemento es una lista que comienza con 2.

Patrones de listas

- Es posible descomponer las listas con reconocimiento de patrones:
 - *Nil*: el patrón constante *Nil*
 - *p :: ps*: un patrón que hace corresponder la cabeza de la lista con el patrón *p* y la cola de la lista con el patrón *ps*. Este patrón, por ejemplo, no hace correspondencia con una lista vacía.
 - *List(p₁, ..., p_n)*: es una abreviación del patrón
 $p_1 :: p_2 :: \dots :: p_n :: Nil$
- Por ejemplo:
 - $1 :: 2 :: xs$: es un patrón que corresponde con las listas de al menos dos elementos, cuyo primer elemento es el 1 y el segundo es el 2.
 - $x :: Nil$: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento.
 - *List(x)*: idéntico al patrón anterior
 - *List()*: idéntico al patrón *Nil*.
 - *List(2 :: xs)*: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento, y ese elemento es una lista que comienza con 2.

Patrones de listas

- Es posible descomponer las listas con reconocimiento de patrones:
 - *Nil*: el patrón constante *Nil*
 - *p :: ps*: un patrón que hace corresponder la cabeza de la lista con el patrón *p* y la cola de la lista con el patrón *ps*. Este patrón, por ejemplo, no hace correspondencia con una lista vacía.
 - *List(p₁, ..., p_n)*: es una abreviación del patrón
 $p_1 :: p_2 :: \dots :: p_n :: Nil$
- Por ejemplo:
 - $1 :: 2 :: xs$: es un patrón que corresponde con las listas de al menos dos elementos, cuyo primer elemento es el 1 y el segundo es el 2.
 - $x :: Nil$: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento.
 - *List(x)*: idéntico al patrón anterior
 - *List()*: idéntico al patrón *Nil*.
 - $List(2 :: xs)$: es un patrón que corresponde con las listas que tienen exactamente un elemento, y ese elemento es una lista que comienza con 2.

Ordenando listas

- Suponga que se desea ordenar listas de números enteros en orden ascendente:
 - Una forma de ordenar la lista $List(8, 4, 11, 2)$ consiste en ordenar primero la cola, es decir la lista $List(4, 11, 2)$ y obtener $List(2, 4, 11)$
 - Y a continuación, insertar la cabeza, o sea 8 en la lista $List(2, 4, 11)$, para obtener $List(2, 4, 8, 11)$
- Esta idea describe el *Insertion Sort* u ordenamiento por inserciones.

```
0  def iSort(xs:List[Int]): List[Int] = {  
1    def insertar(x:Int, xs:List[Int]): List[Int] = xs match {  
2      case List() => List(x)  
3      case y :: ys => if (x < y) x :: xs else y :: insertar(x, ys)  
4    }  
5    xs match {  
6      case List() => List()  
7      case y :: ys => insertar(y, iSort(ys))  
8    }  
9  }  
10 iSort(List(8, 4, 11, 2))
```

Métodos predefinidos (1)

Métodos para acceder a elementos y sublistas:

- *xs.length*: número de elementos de *xs*
- *xs.last*: el último elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs.init*: una lista con los mismos elementos de *xs* salvo el último; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs take n*: una lista con los primeros *n* elementos de *xs* (o *xs* si tiene menos de *n* elementos)
- *xs drop n*: el resto de la lista *xs* después de quitar los primeros *n* elementos
- *xs(n)*: el *n*-ésimo elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* no tiene al menos *n* elementos

Métodos predefinidos (1)

Métodos para acceder a elementos y sublistas:

- *xs.length*: número de elementos de *xs*
- *xs.last*: el último elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs.init*: una lista con los mismos elementos de *xs* salvo el último; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs take n*: una lista con los primeros *n* elementos de *xs* (o *xs* si tiene menos de *n* elementos)
- *xs drop n*: el resto de la lista *xs* después de quitar los primeros *n* elementos
- *xs(n)*: el *n*-ésimo elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* no tiene al menos *n* elementos

Métodos predefinidos (1)

Métodos para acceder a elementos y sublistas:

- *xs.length*: número de elementos de *xs*
- *xs.last*: el último elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs.init*: una lista con los mismos elementos de *xs* salvo el último; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs take n*: una lista con los primeros *n* elementos de *xs* (o *xs* si tiene menos de *n* elementos)
- *xs drop n*: el resto de la lista *xs* después de quitar los primeros *n* elementos
- *xs(n)*: el *n*-ésimo elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* no tiene al menos *n* elementos

Métodos predefinidos (1)

Métodos para acceder a elementos y sublistas:

- *xs.length*: número de elementos de *xs*
- *xs.last*: el último elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs.init*: una lista con los mismos elementos de *xs* salvo el último; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs take n*: una lista con los primeros *n* elementos de *xs* (o *xs* si tiene menos de *n* elementos)
- *xs drop n*: el resto de la lista *xs* después de quitar los primeros *n* elementos
- *xs(n)*: el *n*-ésimo elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* no tiene al menos *n* elementos

Métodos predefinidos (1)

Métodos para acceder a elementos y sublistas:

- *xs.length*: número de elementos de *xs*
- *xs.last*: el último elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs.init*: una lista con los mismos elementos de *xs* salvo el último; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs take n*: una lista con los primeros *n* elementos de *xs* (o *xs* si tiene menos de *n* elementos)
- *xs drop n*: el resto de la lista *xs* después de quitar los primeros *n* elementos
- *xs(n)*: el *n*-ésimo elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* no tiene al menos *n* elementos

Métodos predefinidos (1)

Métodos para acceder a elementos y sublistas:

- *xs.length*: número de elementos de *xs*
- *xs.last*: el último elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs.init*: una lista con los mismos elementos de *xs* salvo el último; lanza excepción si *xs* es vacía
- *xs take n*: una lista con los primeros *n* elementos de *xs* (o *xs* si tiene menos de *n* elementos)
- *xs drop n*: el resto de la lista *xs* después de quitar los primeros *n* elementos
- *xs(n)*: el *n*-ésimo elemento de *xs*; lanza excepción si *xs* no tiene al menos *n* elementos

Métodos predefinidos (2)

- Creación de nuevas listas:
 - $xs ++ ys$: la lista que consiste de todos los elementos de xs seguidos de todos los elementos de ys (concatenación)
 - $xs.reverse$: la lista con los mismos elementos de xs pero en orden inverso.
 - $xs.updated\ (n, x)$: una lista con los mismos elementos de xs salvo el n -ésimo que ahora es x ; lanza excepción si xs no tiene al menos n elementos
- Métodos para buscar elementos:
 - $xs.indexOf\ x$: devuelve el índice del primer elemento en xs igual a x ; si no aparece x en xs devuelve -1
 - $xs.contains\ x$: devuelve $(xs.indexOf\ x \geq 0)$

Métodos predefinidos (2)

- Creación de nuevas listas:
 - $xs ++ ys$: la lista que consiste de todos los elementos de xs seguidos de todos los elementos de ys (concatenación)
 - $xs.reverse$: la lista con los mismos elementos de xs pero en orden inverso.
 - $xs.updated(n, x)$: una lista con los mismos elementos de xs salvo el n -ésimo que ahora es x ; lanza excepción si xs no tiene al menos n elementos
- Métodos para buscar elementos:
 - $xs.indexOf\ x$: devuelve el índice del primer elemento en xs igual a x ; si no aparece x en xs devuelve -1
 - $xs.contains\ x$: devuelve $(xs.indexOf\ x \geq 0)$

Implementando funciones sobre listas: *last* e *init*

- La complejidad de *head* es constante. ¿Qué se puede decir de la complejidad de *last*?
- Miremos una posible implementación de *last* :

```
0 def ultimo[T](xs:List[T]):T = xs match {  
1   case List() => throw new Error("ultimo_de_una_lista_vacia")  
2   case List(x) => x  
3   case _ => ultimo(xs.tail)  
4 }
```

Su complejidad es proporcional al tamaño de *xs*

- Cómo implementaría *init* :

```
0 def init[T](xs:List[T]):T = xs match {  
1   case List() => throw new Error("lista_inicial_de_una_lista_vacia")  
2   case List(x) => ???  
3   case _ => ???  
4 }
```

Implementando funciones sobre listas: *concat* y *reverse*

- ¿Cómo podríamos implementar la concatenación?

```
0 def concat[T](xs:List[T], ys:List[T]): List[T] = xs match {  
1   case List() => ys  
2   case x::zs => x::concat(zs,ys)  
3 }
```

¿Cuál es su complejidad?

- Cómo implementaría *reverse* :

```
0 def reverse[T](xs:List[T]): List[T] = xs match {  
1   case List() => xs  
2   case List(x) => xs  
3   case x::ys => reverse(ys) ++ List(x)  
4 }
```

¿Cuál es su complejidad? ¿Se podría mejorar?

Implementando funciones sobre listas: *aplanar*

- Las listas no tienen que ser homogéneas. Pueden tener elementos de diferentes tipos mezclados:

```
0 scala> 2::List("a","b")
1 val res0: List[Any] = List(2, a, b)
2
3 scala> List(2, List("lulo", "guayaba"), "nissan")
4 val res1: List[Any] = List(2, List(lulo, guayaba), nissan)
```

- Una función útil cuando se tienen listas de listas, es la que **aplana** la lista, es decir, devuelve la lista con los elementos básicos que no son listas:

```
0 def aplanar(xs:List[Any]): List[Any] = xs match {
1   case List() => xs
2   case y::ys => y match {
3     case List() => aplanar(ys)
4     case z::zs => aplanar(z::zs) ++ aplanar(ys)
5     case _ => y :: aplanar(ys)
6   }
7 }
8 aplanar(List(List(1,1), 2, List(3, List(5,8))))
```

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Ordenando listas más rápidamente

- Intentaremos definir una función que ordene listas, más eficientemente que el ordenamiento por inserción.
- Un algoritmo conocido para esto se llama el **mergeSort** u ordenamiento por mezclas. La idea es:
 - Si la lista tiene cero o un elementos, ya está ordenada.
 - Sino:
 - Divida la lista original en dos sublistas de tamaño similar (si se puede, igual) cada una conteniendo más o menos la mitad de los mismos elementos de la lista original.
 - Ordene las dos sublistas.
 - Mezcle las dos sublistas ordenadas, en una sola lista ordenada.

Ordenando listas más rápidamente

- Intentaremos definir una función que ordene listas, más eficientemente que el ordenamiento por inserción.
- Un algoritmo conocido para esto se llama el **mergeSort** u ordenamiento por mezclas. La idea es:
 - Si la lista tiene cero o un elementos, ya está ordenada.
 - Sino:
 - Divida la lista original en dos sublistas de tamaño similar (si se puede, igual) cada una conteniendo más o menos la mitad de los mismos elementos de la lista original.
 - Ordene las dos sublistas.
 - Mezcle las dos sublistas ordenadas, en una sola lista ordenada.

Primera implementación de mergeSort

```
0 def msort(xs: List[Int]): List[Int] = {  
1   def merge(l1: List[Int], l2: List[Int]): List[Int] = l1 match {  
2     case Nil => l2  
3     case m::ms => l2 match {  
4       case Nil => l1  
5       case n::ns => if (m<n) m::merge(ms, l2) else n::merge(l1, ns)  
6     }  
7   }  
8   val n=xs.length/2  
9   if (n==0) xs  
10  else {  
11    val (l1, l2) = xs splitAt n  
12    merge(msort(l1), msort(l2))  
13  }  
14 }
```

La función *splitAt* devuelve dos listas (una hasta antes del elemento *n* y otra del *n*-ésimo elemento en adelante), embebidas en una **pareja** o **tupla** de 2 elementos.

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Pares y tuplas

- Una **pareja** compuesta por x y y se escribe en Scala (x, y) .

```
0 scala> val pareja = ("numero", 42)
1 val pareja: (String, Int) = (numero, 42)
```

- Las parejas también se pueden usar como patrones:

```
0 scala> val (cadena, valor) = pareja
1 val cadena: String = numero
2 val valor: Int = 42
```

- Funciona de manera análoga con **tuplas** de más de 2 elementos
 - El tipo tupla (T_1, \dots, T_n) es una abreviación del tipo parametrizado

scala.Tuplen $[T_1, \dots, T_n]$

- Una expresión de tupla (e_1, \dots, e_n) es una abreviación de la aplicación

scala.Tuplen (e_1, \dots, e_n)

- Un patrón de tupla (p_1, \dots, p_n) es una abreviación del patrón

scala.Tuplen (p_1, \dots, p_n)

La clase tupla

- Todas las clases de tuplas se construyen a partir del siguiente patrón de clase:

```
0 case class Tuple2[T1, T2] (_1:T1, _2:T2) {  
1   override def toString = ...  
2 }
```

- Los campos de una tupla se pueden acceder vía `_1`, `_2`, ...
En lugar del reconocimiento de patrones

```
0 scala> val (cadena, valor)=pareja  
1 val cadena: String = numero  
2 val valor: Int = 42
```

se pudo haber escrito:

```
0 scala> val cadena=pareja._1  
1 val cadena: String = numero  
2 scala> val valor=pareja._2  
3 val valor: Int = 42
```

Pero se prefiere escribir con el reconocimiento de patrones

Reescribiendo *merge*

- Tal como escribimos *merge* se usa reconocimiento de patrones anidado. Esto no refleja la simetría del *merge*.
- Reescriba *merge* usando reconocimiento de patrones sobre parejas:

```
0 def merge(l1: List[Int], l2: List[Int]): List[Int] = (l1, l2) match {  
1   ???  
2 }
```

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 **Pares y tuplas**
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - **Parametrización de tipos**
- 3 Funciones de alto orden sobre listas
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Haciendo un ordenamiento más general

- ¿Cómo parametrizar *msort* de manera que ordene listas de cualquier tipo?
- Nótese que no es suficiente parametrizar *msort*:

```
0 def msort[T](xs: List[T]): List[T] = ...
```

porque *msort* usa *merge* y esta usa $<$ no es un comparador del tipo T .

- **Idea:** parametrizar con la función de comparación del tipo T
- Diseñamos *msort* **polimórfica** pasando el operador de comparación:

```
0 def msort[T](xs: List[T])(mq: (T,T)=>Boolean): List[T] = {  
1   def merge(l1: List[T], l2: List[T]): List[T] = (l1, l2) match {  
2     case (Nil, _) => l2  
3     case (_, Nil) => l1  
4     case (m :: ms, n :: ns) =>  
5       if (mq(m,n)) m :: merge(ms, l2) else n :: merge(l1, ns)  
6   }  
7   val n=xs.length/2  
8   if (n==0) xs  
9   else {  
10    val (l1,l2) = xs splitAt n  
11    merge(msort(l1)(mq), msort(l2)(mq))  
12  }  
13 }  
14 msort(List(1,3,2, 4, 7, 5))((x: Int, y: Int)=> (x<y))  
15 msort(List("a","c","f", "e", "d", "b"))((x:String, y:String)=> (x<y))
```

Patrones recurrentes en computaciones sobre listas

- A partir de los ejemplos anteriores, podemos ver que las funciones sobre listas tienen con frecuencia estructuras similares.
- Se pueden identificar patrones recurrentes:
 - Transformar cada elemento de la lista de cierta manera
 - Recuperar los elementos de la lista que satisfagan algún criterio
 - Combinar los elementos de la lista usando un operador
- Los lenguajes funcionales permiten a los programadores escribir funciones genéricas que implementan este tipo de patrones por medio de **funciones de alto orden**

Patrones recurrentes en computaciones sobre listas

- A partir de los ejemplos anteriores, podemos ver que las funciones sobre listas tienen con frecuencia estructuras similares.
- Se pueden identificar patrones recurrentes:
 - Transformar cada elemento de la lista de cierta manera
 - Recuperar los elementos de la lista que satisfagan algún criterio
 - Combinar los elementos de la lista usando un operador
- Los lenguajes funcionales permiten a los programadores escribir funciones genéricas que implementan este tipo de patrones por medio de **funciones de alto orden**

Patrones recurrentes en computaciones sobre listas

- A partir de los ejemplos anteriores, podemos ver que las funciones sobre listas tienen con frecuencia estructuras similares.
- Se pueden identificar patrones recurrentes:
 - Transformar cada elemento de la lista de cierta manera
 - Recuperar los elementos de la lista que satisfagan algún criterio
 - Combinar los elementos de la lista usando un operador
- Los lenguajes funcionales permiten a los programadores escribir funciones genéricas que implementan este tipo de patrones por medio de **funciones de alto orden**

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 **Funciones de alto orden sobre listas**
 - **Map**
 - Filter
 - Reducción de listas
 - Reverse

Aplicando una función a los elementos de una lista: *map*

- Una operación común consiste en transformar cada elemento de una lista y devolver la lista de los resultados de esas transformaciones.
- Por ejemplo, multiplicar todos los elementos de una lista por un mismo factor:

```
0 def escalarLista(xs: List[Double], factor: Double): List[Double] = xs match {  
1   case Nil => Nil  
2   case y::ys => y*factor :: escalarLista(ys, factor)  
3 }
```

- Este esquema se generaliza por medio del método *map* de las listas:

```
0 abstract class List[T] { ...  
1   def map[U](f: T=>U): List[U] = this match{  
2     case Nil => this  
3     case x::xs => f(x) :: xs.map(f)  
4   }  
5   ...  
6 }
```

- Usando *map*, se puede escribir *escalarLista* más sencillo:

```
0 def escalarLista(xs: List[Double], factor: Double): List[Double] = xs map (x=>x*factor)
```

Ejercicio

Escriba una función *elevaCuadrado* que tome una lista de números y devuelva la lista con los cuadrados de esos números.

- Haga una primera versión directa sin usar *map*:

```
0 def elevaCuadrado(xs: List[Double]): List[Double] = xs match {  
1   case Nil => ???  
2   case y::ys => ???}
```

- Haga una segunda versión usando *map*:

```
0 def elevaCuadrado2(xs: List[Double]): List[Double] = xs map (???)
```

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 **Funciones de alto orden sobre listas**
 - Map
 - **Filter**
 - Reducción de listas
 - Reverse

Filtrando los elementos de una lista: *filter*

- Otra operación común consiste en seleccionar cada elemento de una lista que cumpla una condición.
- Por ejemplo, seleccionar los números positivos de una lista:

```
0 def positivosLista(xs: List[Double]): List[Double] = xs match {  
1   case Nil => Nil  
2   case y::ys => if (y>0) y:: positivosLista(ys) else positivosLista(ys)  
3 }
```

- Este esquema se generaliza por medio del método *filter* de las listas:

```
0 abstract class List[T] { ...  
1   def filter(p: T=>Boolean): List[T] = this match{  
2     case Nil => this  
3     case x::xs => if (p(x)) x::xs.filter(p) else xs.filter(p)  
4   }  
5   ...  
6 }
```

- Usando *filter*, se puede escribir *positivosLista* más sencillo:

```
0 def positivosLista(xs: List[Double]): List[Double] = xs filter (x=>(x>0))
```

Variaciones de *filter*

Además de *filter* hay otros métodos que extraen sublistas basados en predicados:

- *xs filterNot p*: igual que *xs filter* ($x \Rightarrow !p(x)$)
- *xs partition p*: igual que (*xs filter*(*p*), *xs filterNot*(*p*)) pero calculado en una sola pasada
- *xs takeWhile p*: devuelve el prefijo más largo de *xs* con elementos que satisfagan *p*.
- *xs dropWhile p*: devuelve el resto de la lista *xs* después de eliminar el prefijo más largo de *xs* con elementos que satisfagan *p*.
- *xs span p*: igual que (*xs takeWhile*(*p*), *xs dropWhile*(*p*)) pero calculado en una sola pasada

Ejercicios

- Escriba una función *empaquetar* que dada una lista de elementos, empaquete los elementos duplicados consecutivos en una sublista, y devuelva la lista de sublistas respectiva.

empaquetar(List("a", "a", "a", "b", "c", "c", "a"))

deve devolver

List(List("a", "a", "a"), List("b"), List("c", "c"), List("a"))

- Usando *empaquetar* escriba la función *codificar* que dada una lista de elementos, devuelve una lista de parejas (*elemento numero*) indicando el *numero* de veces consecutivas que se repite *elemento* en la lista.

codificar(List("a", "a", "a", "b", "c", "c", "a"))

deve devolver

List(("a", 3), ("b", 1), ("c", 2), ("a", 1))

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 **Funciones de alto orden sobre listas**
 - Map
 - Filter
 - **Reducción de listas**
 - Reverse

Reducción de listas

- Otra operación útil sobre las listas consiste en **combinar** los elementos de una lista usando un **operador binario** dado.

$$\text{suma}(\text{List}(x_1, \dots, x_n)) = 0 + x_1 + \dots + x_n$$

$$\text{prod}(\text{List}(x_1, \dots, x_n)) = 1 * x_1 * \dots * x_n$$

- Podemos implementarlos con los esquemas recursivos usuales:

```
0 def suma(xs: List[Int]): Int = xs match {  
1   case Nil => 0  
2   case y::ys => y + suma(ys)  
3 }  
4 def prod(xs: List[Int]): Int = xs match {  
5   case Nil => 1  
6   case y::ys => y * prod(ys)  
7 }
```

Reducción a la izquierda

- Esos esquemas se pueden abstraer usando el método genérico *reduceLeft*, el cual aplica un operador binario a los diferentes elementos de una lista, asociando a izquierda:

$$List(x_1, \dots, x_n) \text{ reduceLeft } op = (\dots ((x_1 \text{ op } x_2) \text{ op } x_3) \text{ op } \dots) \text{ op } x_n$$

- Usando *reduceLeft* podemos implementar *suma* y *prod* de la siguiente manera:

```
0 def suma(xs: List[Int]): Int = (0::xs) reduceLeft ((x,y) => x+y)
1 def prod(xs: List[Int]): Int = (1::xs) reduceLeft ((x,y) => x*y)
```

o de manera más corta:

```
0 def suma(xs: List[Int]): Int = (0::xs) reduceLeft (_ + _)
1 def prod(xs: List[Int]): Int = (1::xs) reduceLeft (_ * _)
```

foldLeft

- Hay una función más general denominada *foldLeft*, la cual aplica un operador binario a los diferentes elementos de una lista, asociando a izquierda, pero si la lista es vacía devuelve un **acumulador**.
reduceLeft no está definida sobre listas vacías.

$$(List(x_1, \dots, x_n) \text{ foldLeft } z)(op) = (\dots ((z \text{ op } x_1) \text{ op } x_2) \text{ op } \dots) \text{ op } x_n$$

$$(List() \text{ foldLeft } z)(op) = z$$

- Usando *foldLeft* podemos implementar *suma* y *prod* de la siguiente manera:

```
0 def suma(xs: List[Int]): Int = (xs foldLeft 0) ((x,y) => x+y)
1 def prod(xs: List[Int]): Int = (xs foldLeft 1) ((x,y) => x*y)
```

o de manera más corta:

```
0 def suma(xs: List[Int]): Int = (xs foldLeft 0) (_ + _)
1 def prod(xs: List[Int]): Int = (xs foldLeft 1) (_ * _)
```

Implementación de ReduceLeft y FoldLeft

foldLeft y *reduceLeft* están implementadas en la clase *Lista*:

```
0  abstract class List[T] { ...  
1    def reduceLeft(op: (T, T) => T): T = this match {  
2      case Nil => throw new Error("Nil.reduceLeft")  
3      case x::xs => (xs foldLeft x) (op)  
4    }  
5    def foldLeft[U](z:U) (op: (U, T) => U): U = this match {  
6      case Nil => z  
7      case x::xs => (xs foldLeft op(z,x)) (op)  
8    }  
9    ...  
10 }
```

ReduceRight y FoldRight

De manera análoga, se pueden definir las funciones que asocian hacia la derecha:

- *reduceRight* y *foldRight* aplican el operador binario asociando a la derecha:

$$\text{List}(x_1, \dots, x_n) \text{ reduceRight } op = x_1 \text{ op } (\dots (x_{n-2} \text{ op } (x_{n-1} \text{ op } x_n)) \dots)$$

$$(\text{List}(x_1, \dots, x_n) \text{ foldRight } z)(op) = x_1 \text{ op } (\dots (x_{n-1} \text{ op } (x_n \text{ op } z)) \dots)$$

$$(\text{List}() \text{ foldRight } z)(op) = z$$

- La implementación en la clase *List* sería:

```
0  abstract class List[T] { ...
1    def reduceRight(op: (T, T) => T): T = this match {
2      case Nil => throw new Error("Nil.reduceRight")
3      case x::Nil => x
4      case x::xs => op(x, xs.reduceRight(op))
5    }
6    def foldRight[U](z:U) (op: (T, U) => U): U = this match {
7      case Nil => z
8      case x::xs => op(x, (xs.foldRight z)(op))
9    }
10   ...
11 }
```

¿Cuál es la diferencia entre FoldLeft y FoldRight?

- Si los operadores binarios utilizados son conmutativos y asociativos, *foldLeft* y *foldRight* tendrán el mismo resultado. Pero existe una diferencia en eficiencia. ¿Cuál es más eficiente?
- En caso contrario, sólo uno de los dos funciona correctamente. Por ejemplo, considere la siguiente versión de concatenación de listas:

```
0 def concat(xs: List[T], ys: List[T]): List[T] =  
1   (xs foldRight ys) (_ :: _)
```

¿Es posible reemplazar *foldRight* por *foldLeft* ? ¿Por qué?

Plan

- 1 La descomposición en el diseño de datos
 - Interpretador de expresiones aritméticas
 - Reconocimiento de patrones
 - Listas y Funciones sobre listas
- 2 Pares y tuplas
 - Ordenamiento por mezclas
 - Pares y tuplas
 - Parametrización de tipos
- 3 **Funciones de alto orden sobre listas**
 - Map
 - Filter
 - Reducción de listas
 - **Reverse**

Invirtiendo listas eficientemente

- Se quiere desarrollar una función *reverse* que invierta una lista en orden lineal.
- Rellene el siguiente programa que usa *foldLeft*:

```
0 def reverse[T](xs: List[T]): List[T] =  
1   (xs foldLeft z) (op)
```

¿Cuál debe ser el valor de *z*? ¿Cuál el valor de *op*?

- Infiera *z* del hecho que *reverse(Nil) == Nil*
- Infiera *op* del hecho que *reverse(List(x)) == List(x)*