

## Más sobre recursión. Algoritmo de división

Taller de Álgebra I

Primer cuatrimestre 2019

## Recordando recursión

La clase pasada vimos **Recursión**, es decir, el modo de pensar funciones recursivas. Para pensar funciones recursivas necesitamos:

- 1 Casos bases: identificar el o los casos bases.
- 2 Casos recursivos: **suponiendo que la llamada recursiva es correcta**, ¿qué tengo que hacer para completar la solución?

## Recordando recursión

La clase pasada vimos **Recursión**, es decir, el modo de pensar funciones recursivas. Para pensar funciones recursivas necesitamos:

- 1 Casos bases: identificar el o los casos bases.
- 2 Casos recursivos: **suponiendo que la llamada recursiva es correcta**, ¿qué tengo que hacer para completar la solución?

```
sumaLosPrimerosNImpares :: Integer -> Integer
sumaLosPrimerosNImpares n
  | n == 1 = 1
  | n > 1 = ... sumaLosPrimerosNImpares (n-1) ...
```

- Fíjense que el último llamado recursivo ( $n=1$ ) es efectivamente correcto, es el caso base.
- Si podemos dar una solución correcta en base a una llamada recursiva correcta entonces, por inducción, ¡todos van a ser correctos!

## Recordando recursión

La clase pasada vimos **Recursión**, es decir, el modo de pensar funciones recursivas. Para pensar funciones recursivas necesitamos:

- 1 Casos bases: identificar el o los casos bases.
- 2 Casos recursivos: **suponiendo que la llamada recursiva es correcta**, ¿qué tengo que hacer para completar la solución?

```
sumaLosPrimerosNImpares :: Integer -> Integer
sumaLosPrimerosNImpares n
  | n == 1 = 1
  | n > 1 = ... sumaLosPrimerosNImpares (n-1) ...
```

- Fíjense que el último llamado recursivo ( $n=1$ ) es efectivamente correcto, es el caso base.
- Si podemos dar una solución correcta en base a una llamada recursiva correcta entonces, por inducción, ¡todos van a ser correctos!

Con el paso anterior resuelto: ¿Qué falta para que el nuevo paso esté resuelto?

## Recordando recursión

La clase pasada vimos **Recursión**, es decir, el modo de pensar funciones recursivas. Para pensar funciones recursivas necesitamos:

- 1 Casos bases: identificar el o los casos bases.
- 2 Casos recursivos: **suponiendo que la llamada recursiva es correcta**, ¿qué tengo que hacer para completar la solución?

```
sumaLosPrimerosNImpares :: Integer -> Integer
sumaLosPrimerosNImpares n
  | n == 1 = 1
  | n > 1 = ... sumaLosPrimerosNImpares (n-1) ...
```

- Fíjense que el último llamado recursivo ( $n=1$ ) es efectivamente correcto, es el caso base.
- Si podemos dar una solución correcta en base a una llamada recursiva correcta entonces, por inducción, ¡todos van a ser correctos!

Con el paso anterior resuelto: ¿Qué falta para que el nuevo paso esté resuelto?

```
| n > 1 = n_esimoImpar + sumaLosPrimerosNImpares (n-1)
```

Cambiamos el problema: ahora sólo falta definir `n_esimoImpar`.

## Recordando recursión

La clase pasada vimos **Recursión**, es decir, el modo de pensar funciones recursivas. Para pensar funciones recursivas necesitamos:

- 1 Casos bases: identificar el o los casos bases.
- 2 Casos recursivos: **suponiendo que la llamada recursiva es correcta**, ¿qué tengo que hacer para completar la solución?

```
sumaLosPrimerosNImpares :: Integer -> Integer
sumaLosPrimerosNImpares n
  | n == 1 = 1
  | n > 1 = ... sumaLosPrimerosNImpares (n-1) ...
```

- Fíjense que el último llamado recursivo ( $n=1$ ) es efectivamente correcto, es el caso base.
- Si podemos dar una solución correcta en base a una llamada recursiva correcta entonces, por inducción, ¡todos van a ser correctos!

Con el paso anterior resuelto: ¿Qué falta para que el nuevo paso esté resuelto?

```
| n > 1 = n_esimoImpar + sumaLosPrimerosNImpares (n-1)
```

Cambiamos el problema: ahora sólo falta definir `n_esimoImpar`.

```
| n > 1 = n_esimoImpar + sumaLosPrimerosNImpares (n-1)
where n_esimoImpar = 2 * n - 1
```

El `where` es una palabra reservada del lenguaje que nos permite definir constantes o funciones (auxiliares) que son visibles sólo en la función donde se utiliza.

# Inducción vs. Recursión

- ▶ Probar por inducción

$$P(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$$

- ▶ Implementar una función recursiva para

$$f(n) = \sum_{i=1}^n (2i - 1)$$

# Inducción vs. Recursión

- ▶ Probar por inducción  
 $P(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$
- ▶ Vale para  $n = 1 : \sum_{i=1}^1 (2i - 1) = 1^2$
- ▶ Implementar una función recursiva para  
 $f(n) = \sum_{i=1}^n (2i - 1)$
- ▶ Caso base:  $f(n) \mid (n == 1) = 1$



# Inducción vs. Recursión

- ▶ Probar por inducción  
 $P(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$
- ▶ Vale para  $n = 1 : \sum_{i=1}^1 (2i - 1) = 1^2$
- ▶ Supongo que vale  $P(n)$ , quiero probar  $P(n + 1)$
- ▶ Implementar una función recursiva para  
 $f(n) = \sum_{i=1}^n (2i - 1)$
- ▶ Caso base:  $f \ n \mid (n == 1) = 1$
- ▶ Supongo que ya sé calcular  $f(n - 1)$ , quiero calcular  $f(n)$

# Inducción vs. Recursión

- ▶ Probar por inducción  
 $P(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$
- ▶ Vale para  $n = 1 : \sum_{i=1}^1 (2i - 1) = 1^2$
- ▶ Supongo que vale  $P(n)$ , quiero probar  $P(n + 1)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^n (2i - 1) \right) + 2n + 1$$

- ▶ Implementar una función recursiva para  
 $f(n) = \sum_{i=1}^n (2i - 1)$
- ▶ Caso base:  $f \ n \mid (n == 1) = 1$
- ▶ Supongo que ya sé calcular  $f(n - 1)$ , quiero calcular  $f(n)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^n (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1) \right) + 2n - 1$$

# Inducción vs. Recursión

- ▶ Probar por inducción  
 $P(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$
- ▶ Vale para  $n = 1 : \sum_{i=1}^1 (2i - 1) = 1^2$
- ▶ Supongo que vale  $P(n)$ , quiero probar  $P(n + 1)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^n (2i - 1) \right) + 2n + 1$$

- ▶ Uso la hipótesis inductiva  $P(n)$ :

$$\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1) = n^2 + 2n + 1 = (n + 1)^2$$

- ▶ Implementar una función recursiva para  
 $f(n) = \sum_{i=1}^n (2i - 1)$
- ▶ Caso base:  $f \ n \mid (n == 1) = 1$
- ▶ Supongo que ya sé calcular  $f(n - 1)$ , quiero calcular  $f(n)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^n (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1) \right) + 2n - 1$$

- ▶ Uso la función que sé calcular:

$$f(n) = f(n - 1) + 2n - 1$$

# Inducción vs. Recursión

- ▶ Probar por inducción  
 $P(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$
- ▶ Vale para  $n = 1 : \sum_{i=1}^1 (2i - 1) = 1^2$
- ▶ Supongo que vale  $P(n)$ , quiero probar  $P(n + 1)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^n (2i - 1) \right) + 2n + 1$$

- ▶ Uso la hipótesis inductiva  $P(n)$ :

$$\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1) = n^2 + 2n + 1 = (n + 1)^2$$

- ▶ ¿Pero cómo?! ¿Estoy usando lo que quiero probar?!

- ▶ Implementar una función recursiva para  
 $f(n) = \sum_{i=1}^n (2i - 1)$
- ▶ Caso base:  $f(n) \mid (n == 1) = 1$
- ▶ Supongo que ya sé calcular  $f(n - 1)$ , quiero calcular  $f(n)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^n (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1) \right) + 2n - 1$$

- ▶ Uso la función que sé calcular:

$$f(n) = f(n - 1) + 2n - 1$$

- ▶ ¿Pero cómo?! ¿Estoy usando la función que quiero definir?!

# Inducción vs. Recursión

- ▶ Probar por inducción  
 $P(n) : \sum_{i=1}^n (2i - 1) = n^2$
- ▶ Vale para  $n = 1 : \sum_{i=1}^1 (2i - 1) = 1^2$
- ▶ Supongo que vale  $P(n)$ , quiero probar  $P(n + 1)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^n (2i - 1) \right) + 2n + 1$$

- ▶ Uso la hipótesis inductiva  $P(n)$ :

$$\sum_{i=1}^{n+1} (2i - 1) = n^2 + 2n + 1 = (n + 1)^2$$

- ▶ ¿Pero cómo?! ¿Estoy usando lo que quiero probar?!
- ▶ Ah, claro... vale  $P(1)$  y  $P(n) \Rightarrow P(n + 1)$ , entonces ¡vale para todo  $n$ !

- ▶ Implementar una función recursiva para  $f(n) = \sum_{i=1}^n (2i - 1)$
- ▶ Caso base:  $f \ n \mid (n == 1) = 1$
- ▶ Supongo que ya sé calcular  $f(n - 1)$ , quiero calcular  $f(n)$
- ▶ ¿Qué relación hay entre  $\sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1)$  y  $\sum_{i=1}^n (2i - 1)$ ?

$$\sum_{i=1}^n (2i - 1) = \left( \sum_{i=1}^{n-1} (2i - 1) \right) + 2n - 1$$

- ▶ Uso la función que sé calcular:

$$f(n) = f(n - 1) + 2n - 1$$

- ▶ ¿Pero cómo?! ¿Estoy usando la función que quiero definir?!
- ▶ A ver... ¡funciona!

## ¿Recursión con Floats? ¿Inducción sobre los reales?

¡Atención! A veces ciertas funciones esperan un `Float` y nosotros tenemos un `Integer`. Para estos casos podemos utilizar la función `fromInteger :: Integer -> Float`.

### Ejercicios

- ▶ Implementar una función `eAprox :: Integer -> Float` que aproxime el valor del número  $e$  a partir de la siguiente sumatoria:

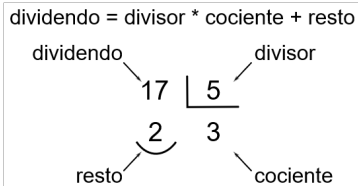
$$\hat{e}(n) = \sum_{i=0}^n \frac{1}{i!}$$

- ▶ Definir la constante `e :: Float` como la aproximación de  $e$  a partir de los primeros 100 términos de la serie anterior.
- ▶ Implementar una función `parteEntera :: Float -> Integer` que calcule la parte entera de un número real positivo.
- ▶ Cambiar la implementación de `parteEntera :: Float -> Integer` para que también funcione con números negativos.

## Cociente y resto – Algoritmo de división

Dados  $a$  (dividendo),  $d$  (divisor)  $\in \mathbb{Z}$ ,  $d \neq 0$ , existen únicos  $q$  (cociente),  $r$  (resto)  $\in \mathbb{Z}$  tales que

- ▶  $a = dq + r$ ,
- ▶  $0 \leq r < |d|$ .

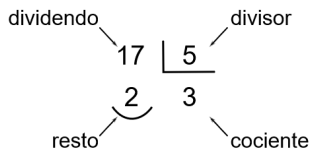


## Cociente y resto – Algoritmo de división

Dados  $a$  (dividendo),  $d$  (divisor)  $\in \mathbb{Z}$ ,  $d \neq 0$ , existen únicos  $q$  (cociente),  $r$  (resto)  $\in \mathbb{Z}$  tales que

- ▶  $a = dq + r$ ,
- ▶  $0 \leq r < |d|$ .

dividendo = divisor \* cociente + resto



Implementar la siguiente función

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
```

Debe funcionar para  $a \geq 0$ ,  $d > 0$  y no se pueden usar `div`, `mod` ni `/`.

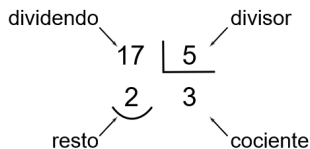


## Cociente y resto – Algoritmo de división

Dados  $a$  (dividendo),  $d$  (divisor)  $\in \mathbb{Z}$ ,  $d \neq 0$ , existen únicos  $q$  (cociente),  $r$  (resto)  $\in \mathbb{Z}$  tales que

- ▶  $a = dq + r$ ,
- ▶  $0 \leq r < |d|$ .

dividendo = divisor \* cociente + resto



Implementar la siguiente función

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
```

Debe funcionar para  $a \geq 0$ ,  $d > 0$  y no se pueden usar `div`, `mod` ni `/`.

### Ideas

Usaremos recursión (idea sacada de la demostración del teorema de la división)

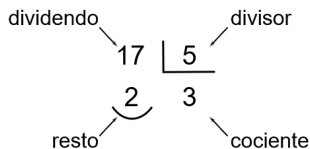
- ▶ `division a d = ??`

## Cociente y resto – Algoritmo de división

Dados  $a$  (dividendo),  $d$  (divisor)  $\in \mathbb{Z}$ ,  $d \neq 0$ , existen únicos  $q$  (cociente),  $r$  (resto)  $\in \mathbb{Z}$  tales que

- ▶  $a = dq + r$ ,
- ▶  $0 \leq r < |d|$ .

dividendo = divisor \* cociente + resto



Implementar la siguiente función

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
```

Debe funcionar para  $a \geq 0$ ,  $d > 0$  y no se pueden usar `div`, `mod` ni `/`.

### Ideas

Usaremos recursión (idea sacada de la demostración del teorema de la división)

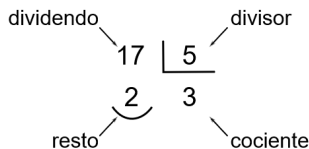
- ▶ `division a d = ??`
- ▶ Hacemos recursión... sobre  $d$ ? Para `division 15 4`, me sirve `division 15 3`?

## Cociente y resto – Algoritmo de división

Dados  $a$  (dividendo),  $d$  (divisor)  $\in \mathbb{Z}$ ,  $d \neq 0$ , existen únicos  $q$  (cociente),  $r$  (resto)  $\in \mathbb{Z}$  tales que

- ▶  $a = dq + r$ ,
- ▶  $0 \leq r < |d|$ .

dividendo = divisor \* cociente + resto



### Implementar la siguiente función

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
```

Debe funcionar para  $a \geq 0$ ,  $d > 0$  y no se pueden usar `div`, `mod` ni `/`.

### Ideas

Usaremos recursión (idea sacada de la demostración del teorema de la división)

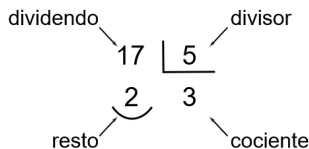
- ▶ `division a d = ??`
- ▶ Hacemos recursión... sobre  $d$ ? Para `division 15 4`, me sirve `division 15 3`?
- ▶ Hacemos recursión... sobre  $a$ ? Para `division 15 4`, me sirve `division 14 4`?

## Cociente y resto – Algoritmo de división

Dados  $a$  (dividendo),  $d$  (divisor)  $\in \mathbb{Z}$ ,  $d \neq 0$ , existen únicos  $q$  (cociente),  $r$  (resto)  $\in \mathbb{Z}$  tales que

- ▶  $a = dq + r$ ,
- ▶  $0 \leq r < |d|$ .

dividendo = divisor \* cociente + resto



### Implementar la siguiente función

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
```

Debe funcionar para  $a \geq 0$ ,  $d > 0$  y no se pueden usar `div`, `mod` ni `/`.

### Ideas

Usaremos recursión (idea sacada de la demostración del teorema de la división)

- ▶ `division a d = ??`
- ▶ Hacemos recursión... sobre  $d$ ? Para `division 15 4`, me sirve `division 15 3`?
- ▶ Hacemos recursión... sobre  $a$ ? Para `division 15 4`, me sirve `division 14 4`?
- ▶ Para `division 15 4`, me sirve `division k 4` para algún  $k$ ?
- ▶ Para determinar lo anterior, pensar qué quiere decir dividir un número por otro.

## Algoritmo de división

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
division a d | a < d = (0, a)
             | otherwise = (fst (division (a-d) d) + 1,
                           snd (division (a-d) d))
```

## Algoritmo de división

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
division a d | a < d = (0, a)
              | otherwise = (fst (division (a-d) d) + 1,
                             snd (division (a-d) d))
```

¿Se puede no poner dos veces `division (a-d) d`? Sí:

## Algoritmo de división

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
division a d | a < d = (0, a)
              | otherwise = (fst (division (a-d) d) + 1,
                             snd (division (a-d) d))
```

¿Se puede no poner dos veces `division (a-d) d`? Sí:

```
division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)
division a d | a < d = (0, a)
              | otherwise = (fst qr' + 1, snd qr')
              where qr' = division (a-d) d
```

### Ejercicio

Extender la función `division :: Integer -> Integer -> (Integer, Integer)` para que funcione para  $a \in \mathbb{Z}$ ,  $d > 0$ .

¿Una fácil?.. o no tanto

- ▶ `sumaDivisores :: Integer -> Integer` que calcule la suma de los divisores un número.



¿Una fácil?.. o no tanto

► `sumaDivisores :: Integer -> Integer` que calcule la suma de los divisores un número.

**Pregunta clave:** ¿alcanza hacer recursión sobre  $n$ ?

### ¿Una fácil?.. o no tanto

► `sumaDivisores :: Integer -> Integer` que calcule la suma de los divisores un número.

**Pregunta clave:** ¿alcanza hacer recursión sobre  $n$ ?

No hay ninguna relación sencilla entre `sumaDivisores n` y `sumaDivisores (n-k)` (para ningún  $k$  particular).

# Generalización de funciones

## ¿Una fácil?.. o no tanto

► `sumaDivisores :: Integer -> Integer` que calcule la suma de los divisores un número.

**Pregunta clave:** ¿alcanza hacer recursión sobre  $n$ ?

No hay ninguna relación sencilla entre `sumaDivisores n` y `sumaDivisores (n-k)` (para ningún  $k$  particular).

¿Qué sucede si construimos una función **más general** que nos facilita el trabajo?

```
sumaDivisoresHasta :: Integer -> Integer -> Integer
```

que devuelve la suma de los divisores de un número hasta cierto punto.

# Generalización de funciones

## ¿Una fácil?.. o no tanto

► `sumaDivisores :: Integer -> Integer` que calcule la suma de los divisores un número.

**Pregunta clave:** ¿alcanza hacer recursión sobre  $n$ ?

No hay ninguna relación sencilla entre `sumaDivisores n` y `sumaDivisores (n-k)` (para ningún  $k$  particular).

¿Qué sucede si construimos una función **más general** que nos facilita el trabajo?

```
sumaDivisoresHasta :: Integer -> Integer -> Integer
```

que devuelve la suma de los divisores de un número hasta cierto punto.

Ahora **sí** existe una relación sencilla entre `sumaDivisoresHasta n k` y `sumaDivisoresHasta n (k-1)`. ¿Por qué?

# Generalización de funciones

## ¿Una fácil?.. o no tanto

- ▶ `sumaDivisores :: Integer -> Integer` que calcule la suma de los divisores un número.

**Pregunta clave:** ¿alcanza hacer recursión sobre  $n$ ?

No hay ninguna relación sencilla entre `sumaDivisores n` y `sumaDivisores (n-k)` (para ningún  $k$  particular).

¿Qué sucede si construimos una función **más general** que nos facilita el trabajo?

```
sumaDivisoresHasta :: Integer -> Integer -> Integer
```

que devuelve la suma de los divisores de un número hasta cierto punto.

Ahora **sí** existe una relación sencilla entre `sumaDivisoresHasta n k` y `sumaDivisoresHasta n (k-1)`. ¿Por qué?

## Ejercicios

- ▶ Implementar una función `sumaDivisoresHasta :: Integer -> Integer -> Integer`.
- ▶ Implementar la función `sumaDivisores` en función de la anterior.

## Ejercicios

Un entero  $p > 1$  es **primo** sii no existe un natural  $k$  tal que  $1 < k < p$  y  $k$  divide a  $p$ .

- 1 `menorDivisor :: Integer -> Integer` que calcule el menor divisor (mayor que 1) de un natural  $n$ .
- 2 Implementar la función `esPrimo :: Integer -> Bool`.

## Ejercicios (sumatorias dobles)

- 3 Implementar la siguiente función:

$$f(n, m) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m i^j$$

- 4 Implementar una función `sumaPotencias q n m` que sume todas las potencias de la forma  $q^{a+b}$  con  $1 \leq a \leq n$  y  $1 \leq b \leq m$ .
- 5 Implementar una función `sumaRacionales n m` que sume todos los números racionales de la forma  $p/q$  con  $1 \leq p \leq n$  y  $1 \leq q \leq m$ .