

John, l'artista

Practica de Programació Funcional

Jordi Soler Iglesias, Gerard Sánchez Sáez

Curs 22/23

Prefaci

S'ha creat una `instance Show Comanda` per poder mostrar `Comanda` correctament a la terminal.

```
instance Show Comanda where
  show Para = "Para"
  show (Avanca dist) = "Avanca " ++ show dist
  show (Gira angle)
    | angle < 0 = "Gira (" ++ show angle ++ ")"
    | otherwise = "Gira " ++ show angle
  show (CanviaColor color) = "CanviaColor " ++ show color
  show (Branca comanda) = "Branca (" ++ show comanda ++ ")"
  show (c1 :#: c2) = show c1 ++ " :#: " ++ show c2
```

Problema 1

```
separa :: Comanda -> [Comanda]
```

L'objectiu és implementar una funció que prengui una comanda i la descompongui en una llista de comandes més petites, eliminant el constructor “Para”. La funció `separa` crida recursivament a la mateixa funció per a cada comanda individual i retorna la llista concatenada de comandes resultants.

Extencions / Limitacions

- Assumeix que les comandes estan ben formades sense errors de sintaxi.

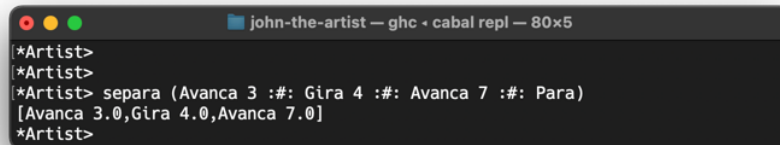
Codi comentat

```
separa :: Comanda -> [Comanda]
separa c = [c] -- base -> c -> []
separa (Para) = [] -- base -> Para = []
separa (c1 :#: c2) = separa c1 ++ separa c2 -- descomposició
```

Implementació

La funció **separa** pren una comanda i la descompon en una llista de comandes més petites.

- Si la comanda és **Para**, retorna una llista buida.
- Si és de la forma **c1 :#: c2**, crida recursivament a **separa** per a **c1** i **c2**, i concatena les llistes resultants.
- Per a les comandes individuals, retorna la comanda en una llista. Això permet descompondre les comandes i eliminar el constructor **Para** en la llista de comandes separades.



```
john-the-artist — ghc - cabal repl — 80x5
[*Artist>
[*Artist>
[*Artist> separa (Avanca 3 :#: Gira 4 :#: Avanca 7 :#: Para)
[Avanca 3.0,Gira 4.0,Avanca 7.0]
[*Artist>
```

Figure 1: separa.png

Problema 2

```
ajunta :: [Comanda] -> Comanda
```

El problema resolt consisteix en implementar una funció en Haskell anomenada “ajunta” que pren una llista de comandes i retorna una única comanda que les agrupa totes. La solució utilitza la funció `foldr1` per unir les comandes amb l’operador “`:#:`” i afegeix la comanda “Para” al final.

Extencions / Limitacions

- La necessitat d’una instància de la classe `Show` per representar les comandes com a cadenes de caràcters.
- La falta de consideració per les incompatibilitats o conflictes entre les comandes individuals.

Codi comentat

```
ajunta :: [Comanda] -> Comanda
ajunta [] = Para -- base -> [] = Para
ajunta cs = foldr1 (:#:) (cs ++ [Para]) -- composicio foldr1
```

Implementacio

La funció “ajunta” pren una llista de comandes i les uneix en una única comanda. Utilitza la recursió i l’operador “`:#:`” per unir les comandes de manera successiva. Si la llista és buida, retorna la comanda “Para” que indica el final de la seqüència de comandes. L’ús de la funció `foldr1` ens permet aplicar l’operador “`:#:`” a tots els elements de la llista, des de l’últim fins al primer, creant així la comanda final que combina totes les comandes originals.

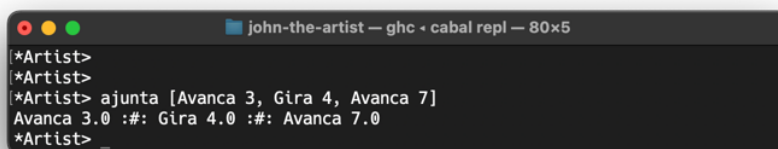


Figure 2: ajunta.png

Problema 3

```
prop_equivalent :: Comanda -> Comanda -> Property
```

```
prop_split_join :: Comanda -> Property
```

```
prop_split :: Comanda -> Property
```

L'objectiu principal és verificar si les funcions separa i ajunta són equivalents, és a dir, si aplicar-les successivament a una comanda donada retorna la mateixa comanda original.

- **prop_split_join:** Verifica que l'aplicació de ajunta a la llista generada per separa d'una comanda sigui igual a la comanda original.
- **prop_equivalent:** Verifica si dues comandes són equivalents. Compara les comandes originals amb les seves llistes separades i ajuntades per determinar si són equivalents.
- **prop_split:** Comprova que la llista generada per separa no contingui cap element de tipus Para ni cap comanda composta (:#:).

Codi comentat

```
-- Verify that the equality of c1 and c2 is the same as
-- the equality of the lists [c1] and [c2] after applying ajunta
prop_equivalent :: Comanda -> Comanda -> Property
prop_equivalent c1 c2 =
  (c1 == c2) === (ajunta [c1] == ajunta [c2])

-- Verify that applying ajunta to the result of separa on c
-- results in the original c value
prop_split_join :: Comanda -> Property
prop_split_join c = ajunta (separa c) === c

-- Verify that there are no elements in the result of separa c
-- that match the isParaOrConc predicate isParaOrConc
prop_split :: Comanda -> Property
prop_split c =
  not (any isParaOrConc (separa c))
  where
    isParaOrConc Para = True
    isParaOrConc (_ :# _) = True
    isParaOrConc _ = False
```

Implementació

Aquest codi conté tres propietats escrites en Haskell per verificar el comportament de les funcions **ajunta** i **separa** en el context del tipus de dades **Comanda**. Les propietats comproven l'equivalència entre comandes, la idempotència de l'operació de separació i ajuntament, i la presència de Para o alguna concatenació en les comandes separades.

```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Artist>
[*Artist>
[*Artist> quickCheck (prop_equivalent Para Para)
+++ OK, passed 1 test.
[*Artist>
```

```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Artist>
[*Artist> quickCheck (prop_split_join (Avanca 40 :#: Gira 30 :#: Avanca 20 :#: Av
anca 10 :#: Para))
+++ OK, passed 1 test.
[*Artist> _
```

```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Artist>
[*Artist> quickCheck (prop_split (Avanca 40 :#: Gira 30 :#: Avanca 20 :#: Avanca
10 :#: Para))
+++ OK, passed 1 test.
[*Artist>
```

Problema 4

```
copia :: Int -> Comanda -> Comanda
```

L'objectiu és la implementació de la funció `copia` que pren un nombre enter i una comanda com a arguments i genera una nova comanda que consisteix en repetir la comanda original un nombre determinat de vegades.

Extencions / Limitacions

- Afegir la capacitat de modificar les comandes individuals en la llista generada, proporcionant una funcionalitat.

Codi

```
copia :: Int -> Comanda -> Comanda
copia n c = ajuntaNoPara (replicate n c)

ajuntaNoPara :: [Comanda] -> Comanda
ajuntaNoPara [] = Para
ajuntaNoPara cs = foldr1 (:#:) cs
```

Implementació

La solució defineix la funció com a `ajuntaNoPara (replicate n c)`, on `replicate n c` crea una llista amb `n` repeticions de la comanda `c`, i `ajuntaNoPara` concatena totes les comandes de la llista generada en una única comanda (sense el `Para`).

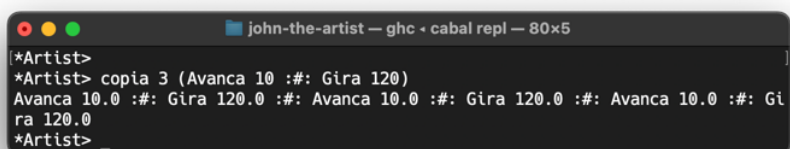


Figure 3: copia.png

Problema 5

`pentagon :: Distancia -> Comanda`

L'objectiu és generar un pentàgon regular amb costats de la mateixa mida, donada una distància de desplaçament. La funció utilitza la funció auxiliar `copia` per repetir una seqüència d'ordres un nombre determinat de vegades.

Extencions / Limitacions

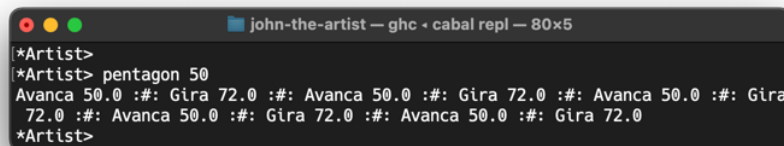
- La solució està fixada per generar un pentàgon regular, no permetent ajustar el nombre de costats o l'angle del gir.

Codi

```
pentagon :: Distancia -> Comanda
pentagon d = copia 5 (Avanca d :#: Gira 72)
```

Implementació

La solució implementada és bastant simple i directa. La funció `pentagon` rep la distància `d` com a paràmetre i utilitza la funció `copia` per repetir 5 vegades la seqüència d'ordres. Aquesta seqüència consisteix en avançar una distància `d` i girar 72 graus a la dreta. Això genera el moviment necessari per construir un pentàgon regular.



```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Artist>
[*Artist> pentagon 50
Avanca 50.0 :#: Gira 72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira 72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira
72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira 72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira 72.0
[*Artist>
```

Figure 4: pentagon.png

Problema 6

```
poligon :: Distancia -> Int -> Angle -> Comanda
```

```
prop_poligon_pentagon :: Distancia -> Int -> Angle -> Property
```

L'objectiu és generar un polígon amb un nombre de costats, una longitud i un angle especificats.

Extencions / Limitacions

- No es realitza cap comprovació per assegurar que l'angle i el nombre de costats coincideixen per formar un polígon vàlid.

Codi

```
poligon :: Distancia -> Int -> Angle -> Comanda
```

```
poligon d l a = copia l (Avanca d :#: Gira a)
```

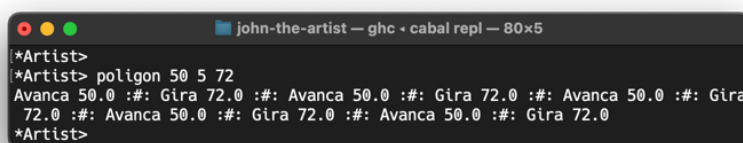
```
prop_poligon_pentagon :: Distancia -> Int -> Angle -> Property
```

```
prop_poligon_pentagon d s a = poligon d s a == pentagon d
```

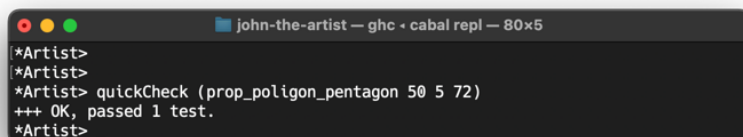
Implementació

Per construir la comanda que dibuixa el polígon, utilitza la funció `copia`, i genera una comanda que consisteix en la repetició de la comanda donada. Aquesta funció s'utilitza per repetir la seqüència de comandes per avançar i girar.

Per comprovar l'equivalència, s'utilitza l'operador d'igualtat (`==`) per comparar el resultat de cridar la funció `poligon` amb els paràmetres especificats i el resultat de cridar la funció `pentagon` amb el mateix paràmetre de distància. Aquest operador de comparació s'encarrega de verificar si els dos resultats són iguals.



```
john-the-artist — ghc - cabal repl — 80x5
[*Artist>
[*Artist> poligon 50 5 72
Avanca 50.0 :#: Gira 72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira 72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira
72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira 72.0 :#: Avanca 50.0 :#: Gira 72.0
[*Artist>
```



```
john-the-artist — ghc - cabal repl — 80x5
[*Artist>
[*Artist>
[*Artist> quickCheck (prop_poligon_pentagon 50 5 72)
+++ OK, passed 1 test.
[*Artist> _
```


Problema 7

```
espiral :: Distancia -> Int -> Distancia -> Angle -> Comanda
```

L'objectiu és crear un patró d'esprial fent que un llapis es mogui a distàncies cada vegada més llargues o més curtes i girant un angle determinat entre elles.

Extensions / Limitacions

- Ajustar l'angle de gir després de cada segment, de manera que no sigui un valor fixe sinó una funció o un patró.
- La solució només genera una espiral en sentit horari. Es podria ampliar per permetre l'opció de generar una espiral en sentit antihorari.
- La longitud del primer segment i el pas poden ser nombres negatius, però s'ha de tenir en compte que no es permet una distància de segment negativa, tal com s'especifica en la descripció del problema.

Codi

```
espiral :: Distancia -> Int -> Distancia -> Angle -> Comanda
espiral len num pas ang =
  ajuntaNoPara $ zipWith (\i counter
    -> poligon (len + fromIntegral i * pas) 1 ang) [0..] [1..num]
```

Implementació

S'utilitza la funció `zipWith` per combinar dues llistes: una que conté els índexos dels segments de línia (de 0 a `num`) i una altra que compta els segments de línia des de 1 fins a `num`.

A continuació, s'aplica una funció lambda que pren l'índex `i` i el comptador creant una comanda de polígon. La longitud del polígon es calcula com a `len + fromIntegral i * pas`, on `i` és l'índex i `pas` és la quantitat per la qual la longitud dels segments successius canvia. L'angle del polígon és el valor fixat `ang`.

Finalment, s'utilitza `ajuntaNoPara` per concatenar totes les comandes generades en una única seqüència de comandes que descriu l'esprial.

```
john-the-artist — ghc • cabal repl — 80x5
[*Artist>
*Artist> espiral 30 4 5 30
Avanca 30.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 35.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 40.0 :#: Gira
30.0 :#: Avanca 45.0 :#: Gira 30.0
*Artist> _
```

Figure 5: espiral.png

```
john-the-artist — ghc • cabal repl — 80x5
[*Artist>
*Artist>
*Artist> espiral 30 0 5 30
Para
*Artist> _
```

Figure 6: espiral1.png

```
john-the-artist — ghc • cabal repl — 80x5
[*Artist>
*Artist> espiral 30 4 (-5) 30
Avanca 30.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 25.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 20.0 :#: Gira
30.0 :#: Avanca 15.0 :#: Gira 30.0
*Artist>
```

Figure 7: espiral2.png

```
john-the-artist — ghc • cabal repl — 80x5
[*Artist> espiral 30 (-5) 38 (-5) 30
Avanca 30.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 25.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 20.0 :#: Gira
30.0 :#: Avanca 15.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 10.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca 5.0
: Gira 30.0 :#: Avanca 0.0 :#: Gira 30.0 :#: Avanca -5.0 :#: Gira 30.0
*Artist> _
```

Figure 8: espiral3.png

```
display(espisal 30 100 5 30)
```

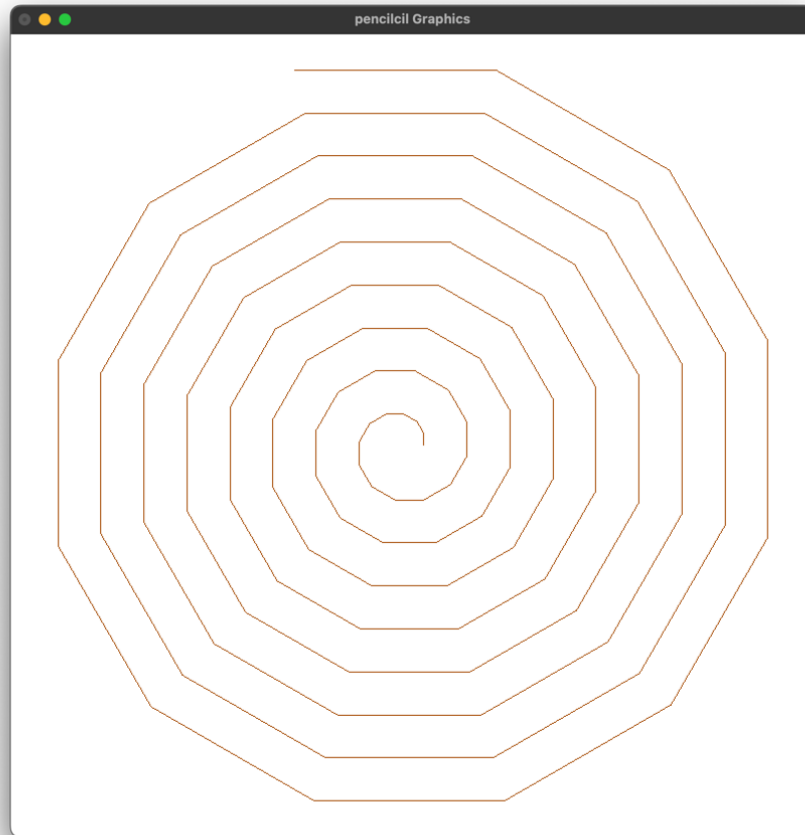


Figure 9: `espisal4.png`

Problema 8

```
execute :: Comanda -> [Ln]
```

L'objectiu és recórrer les comandes de forma recursiva i generar una llista de línies que representin el dibuix resultant. Les línies han de ser generades seguint les coordenades i els angles actuals.

Cada vegada que s'executa una comanda **Avança**, es calcula la nova posició del punt de dibuix utilitzant les funcions trigonomètriques. A més, quan es troba una comanda de **Branca**, el conjunt de comandes contingudes a la branca s'executen de manera recursiva.

Codi

```
execute :: Comanda -> [Ln]
execute c = let c' = ajuntaNoPara (separaAmbPara c)
            in go (marro, Pnt 0 0, 0) c'

where
  go :: (Llapis, Pnt, Angle) -> Comanda -> [Ln]
  go _ Para = []
  go (pencil, start, angle) (Avanca dist :#: rest) =
    let end = start + Pnt (dist * cos (angle * pi / 180))
                      (dist * sin (angle * pi / 180))
    in Ln pencil start end : go (pencil, end, angle) rest
  go (pencil, start, angle) (Avanca dist) =
    let end = start + Pnt (dist * cos (angle * pi / 180))
                      (dist * sin (angle * pi / 180))
    in [Ln pencil start end]
  go state@(pencil, start, angle) (Gira newAngle :#: rest) =
    go (pencil, start, angle - newAngle) rest
  go state@(pencil, start, angle) (Gira newAngle) =
    go (pencil, start, angle - newAngle) Para
  go (pencil, start, angle) (CanviaColor newPencil :#: rest) =
    go (newPencil, start, angle) rest
  go (pencil, start, angle) (CanviaColor newPencil) =
    go (newPencil, start, angle) Para
  go state@(pencil, start, angle) (Branca branch :#: rest) =
    let branchLines = go (pencil, start, angle) branch
    in branchLines ++ go state rest
  go state@(pencil, start, angle) (Branca branch) =
    go (pencil, start, angle) branch
  go state@(pencil, start, angle) (_ :#: rest) =
    go state rest
```

Implementació

```
execute :: Comanda -> [Ln]
execute c = let c' = ajuntaNoPara (separaAmbPara c)
            in go (marro, Pnt 0 0, 0) c'
```

Aquesta és la signatura i l'inici de la funció `execute`. Pren una `Comanda` i retorna una llista de línies `[Ln]`. Abans de cridar la funció `go`, es realitzen algunes transformacions en la comanda d'entrada per simplificar-ne el processament.

A continuació es declara la funció auxiliar `go` amb el seu cas base. Pren una tupla que conté el llapis actual, el punt actual i l'angle actual, juntament amb la comanda restant. Si la comanda és `Para`, que no fa res, es retorna una llista buida de línies.

```
go :: (Llapis, Pnt, Angle) -> Comanda -> [Ln]
go _ Para = []
```

Aquesta part gestiona el cas en què la comanda és una seqüència de `Avanca` i altres comandes (`Avanca dist :#: rest`).

Es calcula la nova posició (`end`) del punt de dibuix sumant la distància `dist` en les direccions `x` i `y` utilitzant les funcions trigonomètriques `cos` i `sin`.

A continuació, s'afegeix una nova línia (`Ln`) a la llista de línies, que representa el segment dibuixat des del punt inicial (`start`) fins al punt final (`end`). La funció `go` es crida de manera recursiva amb la nova posició i la resta de la comanda.

```
go (pencil, start, angle) (Avanca dist :#: rest) =
  let end = start + Pnt (dist * cos (angle * pi / 180))
                    (dist * sin (angle * pi / 180))
  in Ln pencil start end : go (pencil, end, angle) rest
```

Aquí es gestiona el cas en què la comanda és només un `Avanca` (`Avanca dist`). El funcionament és similar a l'anterior, però en aquest cas, es retorna una llista que conté només una línia.

```
go (pencil, start, angle) (Avanca dist) =
  let end = start + Pnt (dist * cos (angle * pi / 180))
                    (dist * sin (angle * pi / 180))
  in [Ln pencil start end]
```

Aquesta part gestiona el cas en què la comanda és una seqüència de `Gira` i altres comandes (`Gira newAngle :#: rest`).

Es resta `newAngle` a l'angle (`angle`) actual i es crida la funció `go` de manera recursiva amb l'angle actualitzat i la resta de la comanda.

```
go state@(pencil, start, angle) (Gira newAngle :#: rest) =
  go (pencil, start, angle - newAngle) rest
```

Per gestionar el cas en què la comanda és només un `Gira` (`Gira newAngle`), es resta `newAngle` actual a l'angle (`angle`) i es crida la funció `go` de manera recursiva amb l'angle actualitzat i una comanda `Para` per finalitzar la seqüència de comandes.

```
go state@(pencil, start, angle) (Gira newAngle) =
    go (pencil, start, angle - newAngle) Para
```

La clàusula que gestiona el cas en què la comanda és una seqüència de `CanviaColor` i altres comandes (`CanviaColor newPencil :#: rest`) actualitza el llapis actual (`newPencil`) i crida la funció `go` de manera recursiva amb el llapis actualitzat i la resta de la comanda.

```
go state@(pencil, start, angle) (CanviaColor newPencil :#: rest) =
    go (newPencil, start, angle) rest
```

La mateixa clàusula però per gestionar el cas en què la comanda és només un `CanviaColor` (`CanviaColor newPencil`). S'actualitza el llapis actual (`newPencil`) i es crida la funció `go` de manera recursiva amb el llapis actualitzat i una comanda `Para` per finalitzar la seqüència de comandes.

```
go state@(pencil, start, angle) (CanviaColor newPencil) =
    go (newPencil, start, angle) Para
```

Aquesta part gestiona el cas en què la comanda és una seqüència de `Branca` i altres comandes (`Branca branch :#: rest`), on es crida la funció `go` recursivament per processar la branca de comandes (`branch`) i s'obté una llista de línies que representa el dibuix d'aquesta branca (`branchLines`). A continuació, es torna a cridar la funció `go` de manera recursiva amb la resta de la comanda (`rest`) i s'afegeixen les línies de la branca (`branchLines`) a la llista de línies generada per la resta de la comanda.

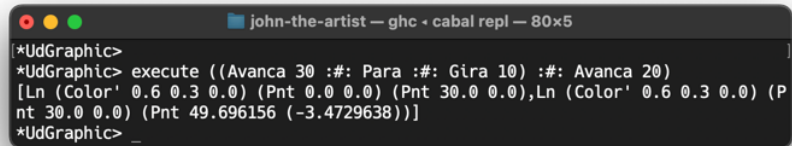
```
go state@(pencil, start, angle) (Branca branch :#: rest) =
    let branchLines = go (pencil, start, angle) branch
    in branchLines ++ go state rest
```

Aquí es gestiona el cas en què la comanda és només una `Branca` (`Branca branch`), on es crida la funció `go` de manera recursiva per processar la branca de comandes (`branch`).

```
go state@(pencil, start, angle) (Branca branch) =
    go (pencil, start, angle) branch
```

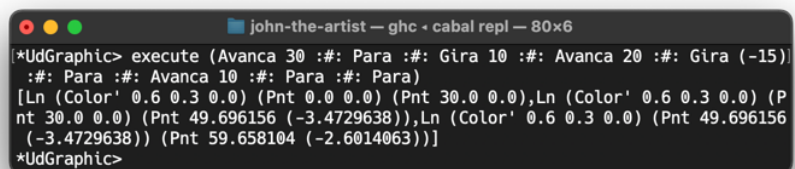
Finalment, per gestionar el cas en què la comanda és una seqüència de comandes on la primera comanda no és cap de les anteriors (`_ :#: rest`), s'ignora la primera comanda i es crida la funció `go` de manera recursiva amb la resta de la comanda.

```
go state@(pencil, start, angle) (_ :#: rest) =
    go state rest
```

A terminal window titled "john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5". It contains the following text:

```
[*UdGraphic>  
*UdGraphic> execute ((Avanca 30 :#: Para :#: Gira 10) :#: Avanca 20)  
[Ln (Color' 0.6 0.3 0.0) (Pnt 0.0 0.0) (Pnt 30.0 0.0),Ln (Color' 0.6 0.3 0.0) (P  
nt 30.0 0.0) (Pnt 49.696156 (-3.4729638))]  
*UdGraphic> _
```

Figure 10: execute.png

A terminal window titled "john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x6". It contains the following text:

```
[*UdGraphic> execute (Avanca 30 :#: Para :#: Gira 10 :#: Avanca 20 :#: Gira (-15))  
:#: Para :#: Avanca 10 :#: Para :#: Para)  
[Ln (Color' 0.6 0.3 0.0) (Pnt 0.0 0.0) (Pnt 30.0 0.0),Ln (Color' 0.6 0.3 0.0) (P  
nt 30.0 0.0) (Pnt 49.696156 (-3.4729638)),Ln (Color' 0.6 0.3 0.0) (Pnt 49.696156  
(-3.4729638)) (Pnt 59.658104 (-2.6014063))]  
*UdGraphic>
```

Figure 11: execute1.png

Problema 9

```
optimitza :: Comanda -> Comanda
```

L'objectiu és retornar una seqüència equivalent que tingui les següents propietats:

- No conté les comandes **Para**, **Avança 0** o **Gira 0**, llevat que la comanda sigui equivalent a **Para**.
- No conté comandes **Avança** consecutives.
- No conté comandes **Gira** consecutives.

Extencions / Limitacions

- La solució assumeix que els moviments tenen una distància no negativa, ja que no es podria reduir una seqüència de moviments consecutius a un sol moviment.

Codi

```
optimitza :: Comanda -> Comanda
optimitza = ajuntaNoPara . opt 0 0 False . separa
  where
    opt :: Float -> Float -> Bool -> [Comanda] -> [Comanda]
    opt a g nonZero [] = para a g nonZero
    opt a g nonZero (Para : cs) = opt a g nonZero cs
    opt a g nonZero (Avanca 0 : cs) = opt a g nonZero cs
    opt a g nonZero (Gira 0 : cs) = opt a g nonZero cs
    opt a g _ (Avanca d : cs) = emitGira g $ opt (a+d) 0 True cs
    opt a g _ (Gira d : cs) = emitAvanca a $ opt 0 (g+d) True cs
    opt a g nonZero ((CanviaColor l) : cs) =
      CanviaColor l : opt a g nonZero cs
    opt a g nonZero ((Branca c) : cs) =
      emitAvanca a $ emitGira g
        $ Branca (optimitza c) : opt 0 0 True cs

    emitAvanca :: Float -> [Comanda] -> [Comanda]
    emitAvanca 0 cs = cs
    emitAvanca a cs = Avanca a : cs

    emitGira :: Float -> [Comanda] -> [Comanda]
    emitGira 0 cs = cs
    emitGira g cs = Gira g : cs

    para :: Float -> Float -> Bool -> [Comanda]
    para 0 0 False = [Para]
    para a g _ = emitAvanca a $ emitGira g []
```


Implementació

Utilitza la composició de funcions (.) per aplicar successivament les funcions `separa`, `opt` i `ajuntaNoPara` a la Comanda rebuda com a paràmetre.

```
optimitza :: Comanda -> Comanda
optimitza = ajuntaNoPara . opt 0 0 False . separa
```

Aquesta és la definició de la funció auxiliar ‘opt’ que pren quatre paràmetres:

- `a` (que representa la distància acumulada de moviments **Avança**)
- `g` (que representa l’angle acumulat de moviments **Gira**)
- `nonZero` (un indicador que especifica si ja s’ha realitzat algun moviment no nul)
- `cs` (la llista de comandes restants).

En aquesta línia, s’estableix la condició de parada de la recursió: si no queden més comandes, es crida la funció `para` per generar la comanda final.

```
opt :: Float -> Float -> Bool -> [Comanda] -> [Comanda]
opt a g nonZero [] = para a g nonZero
```

Aquestes són les clàusules per a les comandes `Para`, `Avança 0` i `Gira 0`. Si s’aplica alguna d’aquestes comandes, es descarten i la funció continua amb la llista de comandes restants.

```
opt a g nonZero (Para : cs) = opt a g nonZero cs
opt a g nonZero (Avanca 0 : cs) = opt a g nonZero cs
opt a g nonZero (Gira 0 : cs) = opt a g nonZero cs
```

Aquesta clàusula s’aplica quan s’ha trobat una comanda **Avança** amb una distància `d` diferent de zero.

En aquest cas, s’afegeix l’angle acumulat `g` a través de la funció auxiliar `emitGira` i es crida recursivament `opt` amb la nova distància acumulada `a + d`, l’angle reiniciat `0` i l’indicador `True`.

```
opt a g _ (Avanca d : cs) = emitGira g $ opt (a+d) 0 True cs
```

Aquesta és similar a l’anterior, però s’aplica quan s’ha trobat una comanda de **Gira**.

```
opt a g _ (Gira d : cs) = emitAvanca a $ opt 0 (g+d) True cs
```

S’aplica quan s’ha trobat una comanda **CanviaColor**. En aquest cas, la comanda es conserva i es crida recursivament `opt` amb la llista de comandes restants.

```
opt a g nonZero ((CanviaColor 1) : cs) =
  CanviaColor 1 : opt a g nonZero cs
```

Aquesta clàusula s’aplica quan s’ha trobat una comanda **Branca**. S’apliquen les funcions auxiliars `emitAvanca` i `emitGira` per afegir la distància acumulada `a` i l’angle acumulat `g` respectivament.

A continuació, es crida recursivament `optimitza` sobre la comanda `c` continguda a la `Branca` i s'afegeix a la llista de comandes optimitzades. Finalment, es crida recursivament `opt` amb la distància `i`, l'angle reiniciat (`0`), l'indicador posat a `True` i la llista de comandes restants.

```
opt a g nonZero ((Branca c) : cs) =
    emitAvanca a $ emitGira g $ Branca (optimitza c)
    : opt 0 0 True cs
```

Aquesta és la definició de la funció auxiliar `emitAvanca`, que afegeix una comanda `Avança` amb una distància `a` a la llista de comandes. Si la distància és `zero`, no s'afegeix cap comanda i es retorna la llista original.

```
emitAvanca :: Float -> [Comanda] -> [Comanda]
emitAvanca 0 cs = cs
emitAvanca a cs = Avanca a : cs
```

Aquesta també és similar a l'anterior, però s'aplica amb `Gira`.

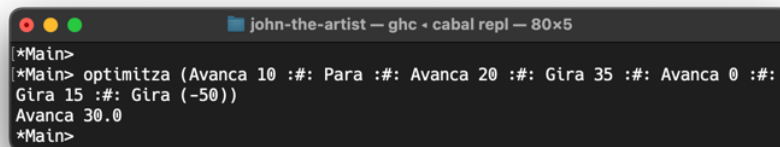
```
emitGira :: Float -> [Comanda] -> [Comanda]
emitGira 0 cs = cs
emitGira g cs = Gira g : cs
```

La funció `para` genera la comanda `Para` o una seqüència d'`Avança` i `Gira` amb les distàncies i angles proporcionats.

Si les distàncies i angles són tots `zero` i `nonZero` és `False`, es genera la comanda `Para`.

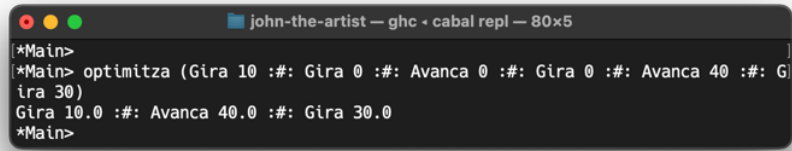
En cas contrari, es generen les comandes `Avança` i `Gira` amb les distàncies i angles corresponents, a través de les funcions auxiliars `emitAvanca` i `emitGira`.

```
para :: Float -> Float -> Bool -> [Comanda]
para 0 0 False = [Para]
para a g _ = emitAvanca a $ emitGira g []
```



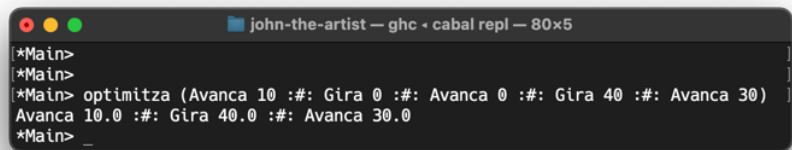
```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main> optimitza (Avanca 10 :#: Para :#: Avanca 20 :#: Gira 35 :#: Avanca 0 :#:
Gira 15 :#: Gira (-50))
Avanca 30.0
[*Main>
```

Figure 12: `optimitza.png`



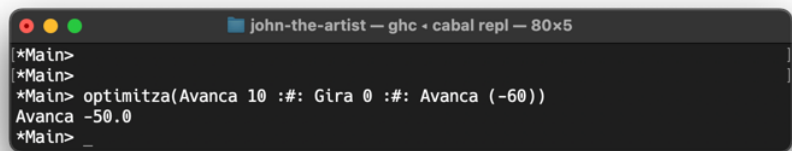
```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main> optimitza (Gira 10 :#: Gira 0 :#: Avanca 0 :#: Gira 0 :#: Avanca 40 :#: G
ira 30)
Gira 10.0 :#: Avanca 40.0 :#: Gira 30.0
*Main>
```

Figure 13: optimitza1.png



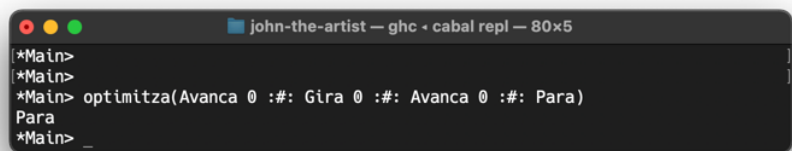
```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main>
[*Main> optimitza (Avanca 10 :#: Gira 0 :#: Avanca 0 :#: Gira 40 :#: Avanca 30)
Avanca 10.0 :#: Gira 40.0 :#: Avanca 30.0
*Main> _
```

Figure 14: optimitza2.png



```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main>
[*Main> optimitza(Avanca 10 :#: Gira 0 :#: Avanca (-60))
Avanca -50.0
*Main> _
```

Figure 15: optimitza3.png



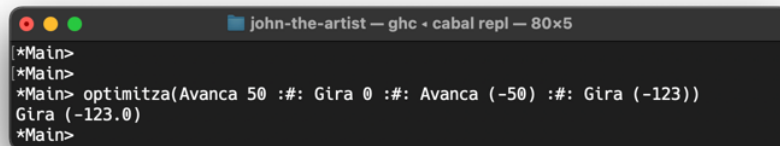
```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main>
[*Main> optimitza(Avanca 0 :#: Gira 0 :#: Avanca 0 :#: Para)
Para
*Main> _
```

Figure 16: optimitza4.png



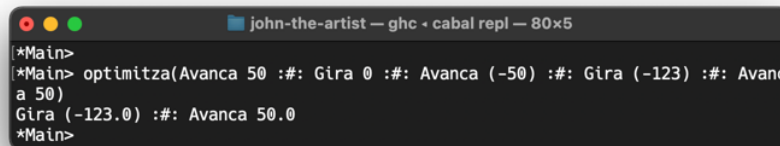
```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main>
[*Main> optimitza(Avanca 50 :#: Gira 123 :#: Avanca (-50) :#: Gira (-123))
Avanca 50.0 :#: Gira 123.0 :#: Avanca -50.0 :#: Gira (-123.0)
[*Main>
```

Figure 17: optimitza5.png



```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main>
[*Main> optimitza(Avanca 50 :#: Gira 0 :#: Avanca (-50) :#: Gira (-123))
Gira (-123.0)
[*Main>
```

Figure 18: optimitza6.png



```
john-the-artist — ghc < cabal repl — 80x5
[*Main>
[*Main> optimitza(Avanca 50 :#: Gira 0 :#: Avanca (-50) :#: Gira (-123) :#: Avanc
a 50)
Gira (-123.0) :#: Avanca 50.0
[*Main>
```

Figure 19: optimitza7.png

Problemes (10, 11, 12, 13, 14 + Gramàtica)

Aquest apartat implementa una sèrie de sistemes de Lindenmayer (L-systems) per generar diverses figures geomètriques. Els L-systems són un tipus de gramàtica formal que es pot utilitzar per modelar el creixement de plantes i altres estructures fraccionals.

Estructures de dades

- **Grammar:**
 - És un tipus de dada que conté informació sobre un sistema de Lindenmayer, incloent-hi l'angle de rotació, les regles de reescriptura, l'estat inicial i una funció de reescriptura.

Funcions principals

- **applyRules:** Aquesta funció aplica les regles d'un sistema de Lindenmayer a un símbol. Si no es pot aplicar cap regla, retorna el símbol sense modificar.
- **gen:** Aquesta funció aplica les regles d'un sistema de Lindenmayer a una cadena de caràcters **n** vegades.
- **comanda:** Aquesta funció genera una comanda a partir d'un sistema de Lindenmayer i un nombre d'iteracions. Utilitza la funció **gen** per generar una cadena de caràcters, i després utilitza la funció de reescriptura del sistema de Lindenmayer per convertir aquesta cadena de caràcters en una comanda.

Funcions de reescriptura

Es defineixen diverses funcions de reescriptura que es poden utilitzar per convertir una cadena de caràcters generada per un sistema de Lindenmayer en una comanda.

Aquestes funcions interpreten els diferents símbols de la cadena de caràcters com a diferents comandes.

Per exemple, en el cas de **replaceCommandsTriangle**, el caràcter '**f**' es tradueix com a **Avança 1**, **+** es tradueix com a **Gira angle** i **-** es tradueix com a **Gira (-angle)**.

Extensions / Limitacions

- El codi està estructurat de tal manera que es poden afegir fàcilment noves comandes. Només s'ha de modificar el tipus **Comanda** per incloure les noves comandes i actualitzar les funcions de reescriptura per tractar-les.
- Es poden afegir fàcilment més sistemes de Lindenmayer simplement creant una nova instància de **Grammar** i una funció de reescriptura associada.
- El codi no gestiona errors com ara regles mal definides o símbols que no es reconeixen. Això podria provocar errors en temps d'execució.
- El codi està dissenyat per a sistemes de Lindenmayer relativament senzills on cada símbol es pot reescriure de forma independent dels altres. En sistemes més complexos on la reescriptura d'un símbol pot dependre dels seus veïns, aquest codi pot no ser adequat.

Codi

Definicions de tipus

```
type Symbol = Char
type Rule = (Symbol, String)
type Rules = [Rule]
type Rewrite = Grammar -> String -> Comanda
```

```
data Grammar = Grammar {
    angle :: Float,
    rules :: Rules,
    start :: String,
    rewrite :: Rewrite
}
```

Generació de comandes

```
applyRules :: Rules -> Symbol -> String
applyRules rules s = fromMaybe [s] (lookup s rules)

gen :: Rules -> Int -> String -> String
gen rules 0 s = s
gen rules n s = gen rules (n-1) (concatMap (applyRules rules) s)

comanda :: Grammar -> Int -> Comanda
comanda grammar n =
    optimitza $
        (rewrite grammar) grammar (gen (rules grammar) n (start grammar))
```

Definició de Gramatiques (Sistemes de Lindenmayer)

```
triangleGrammar :: Grammar
triangleGrammar = Grammar {
    angle = 90,
    rules = [('f', "f+f-f-f+f")],
    start = "+f",
    rewrite = replaceCommandsTriangle
}

fullaGrammar :: Grammar
fullaGrammar = Grammar {
    angle = 45,
    rules = [('f', "g[-f][+f][gf]"), ('g', "gg")],
    start = "f",
    rewrite = replaceCommandsFulla
}

hilbertGrammar :: Grammar
hilbertGrammar = Grammar {
    angle = 90,
    rules = [('l', "+rf-lfl-fr+"), ('r', "-lf+rfr+fl-")],
    start = "l",
    rewrite = replaceCommandsHilbert
}

fletxaGrammar :: Grammar
fletxaGrammar = Grammar {
    angle = 60,
    rules = [('f', "g-f-g"), ('g', "f+g+f")],
    start = "f",
    rewrite = replaceCommandsFletxa
}

brancaGrammar :: Grammar
brancaGrammar = Grammar {
    angle = 22.5,
    rules = [('g', "f-[[g]+g]+f[+fg]-g"), ('f', "ff")],
    start = "g",
    rewrite = replaceCommandsBranca
}
```

Funcions de reescriptura

Només s'ha inclòs la funció de reescriptura per a `fullaGrammar`. Les altres funcions de reescriptura es poden trobar al fitxer `Artist.hs`.

La funció `replaceCommandsFulla` és una implementació específica de la funció de reescriptura (`Rewrite`) per al `Grammar` que defineix la fulla (`fullaGrammar`). La seva funció és convertir una cadena de caràcters en una seqüència de comandes que es poden utilitzar per dibuixar una imatge basada en aquesta gramàtica.

```
replaceCommandsFulla :: Rewrite
replaceCommandsFulla grammar xs = fst $ parse 0 xs
  where
    ang = angle grammar
    parse :: Int -> String -> (Comanda, String)
    parse _ [] = (Para, [])
    parse depth (x:xs)
      | x == 'f' = let (cmds, rest) = parse depth xs
                    in (Avanca 1 :#: cmds, rest)
      | x == '+' = let (cmds, rest) = parse depth xs
                    in (Gira ang :#: cmds, rest)
      | x == '-' = let (cmds, rest) = parse depth xs
                    in (Gira (-ang) :#: cmds, rest)
      | x == '[' = let (branchCmds, rest) = parse (depth + 1) xs
                    in (Branca branchCmds :#: cmds, rest')
                    where (cmds, rest') = parse depth rest
      | x == ']' = if depth > 0
                    then (Para, xs)
                    else error "Unmatched closing bracket"
      | x == 'g' = let (cmds, rest) = parse depth xs
                    in (Avanca 1 :#: cmds, rest)
      | otherwise = parse depth xs
```

Funcions de dibuix

```
triangle :: Int -> Comanda
triangle n = comanda triangleGrammar n

fulla :: Int -> Comanda
fulla n = comanda fullaGrammar n

hilbert :: Int -> Comanda
hilbert n = comanda hilbertGrammar n

fletxa :: Int -> Comanda
fletxa n = comanda fletxaGrammar n

branca :: Int -> Comanda
branca n = comanda brancaGrammar n
```


Implementació

La funció `applyRules` pren un conjunt de regles i un símbol i intenta trobar-lo.

- Si el símbol és present, la funció retorna la cadena de caràcters associada al símbol.
- Si no es present, retorna una cadena que només conté el símbol original.

La funció `fromMaybe` s'utilitza per tractar la possible absència de la regla, retornant el símbol original.

La funció `gen` es crida recursivament per generar una cadena de caràcters basada en un conjunt de regles. Si la profunditat `n` és 0, simplement retorna la cadena actual `s`. Si la profunditat és major que 0, es crida a si mateixa amb la profunditat reduïda en 1 i amb la cadena de caràcters actualitzada aplicant les regles a cada símbol de la cadena (`concatMap (applyRules rules) s`).

A la funció `replaceCommandsTriangle :: Rewrite`, la clàusula principal `replaceCommands<Grammar> grammar xs = fst $ parse 0 xs` pren un `Grammar` i una cadena de caràcters (`xs`) com a entrada, i crida la funció `parse` amb una profunditat (`depth`) inicial de 0.

La funció `parse :: Int -> String -> (Comanda, String)` retorna una parella (tuple) on el primer element és la comanda final i el segon element la resta de la cadena que encara no s'ha analitzat. Com que només estem interessats en la comanda final, utilitzem `fst` per seleccionar aquesta comanda.

En el cas base de la recursió `parse _ [] = (Para, [])`, si la cadena de caràcters està buida, retornem la comanda `Para` i una cadena buida.

En el cas recursiu `parse depth (x:xs)`, `x` és el primer caràcter de la cadena i `xs` és la resta de la cadena.

Per a cada caràcter `x == 'f'`, `x == '+'`, `x == '-'`, `x == '['`, `x == ']'` i `x == 'g'`, generem una comanda o seqüència de comandes i cridem recursivament `parse` amb la resta de la cadena.

El cas `x == '['` representa l'inici d'una **Branca**, on incrementem la profunditat (`depth`) en 1 i cridem `parse` amb la resta de la cadena. Després cridem `parse` amb la resta de la cadena resultant a la profunditat (`depth`) original i combinem les dues seqüències de comandes en una única seqüència que representa la **Branca**.

Finalment, si el caràcter no és cap dels anteriors, simplement l'ignorem i continuem processant la resta de la cadena.

Pantallasos d'us

```
display(triangle 7)
```

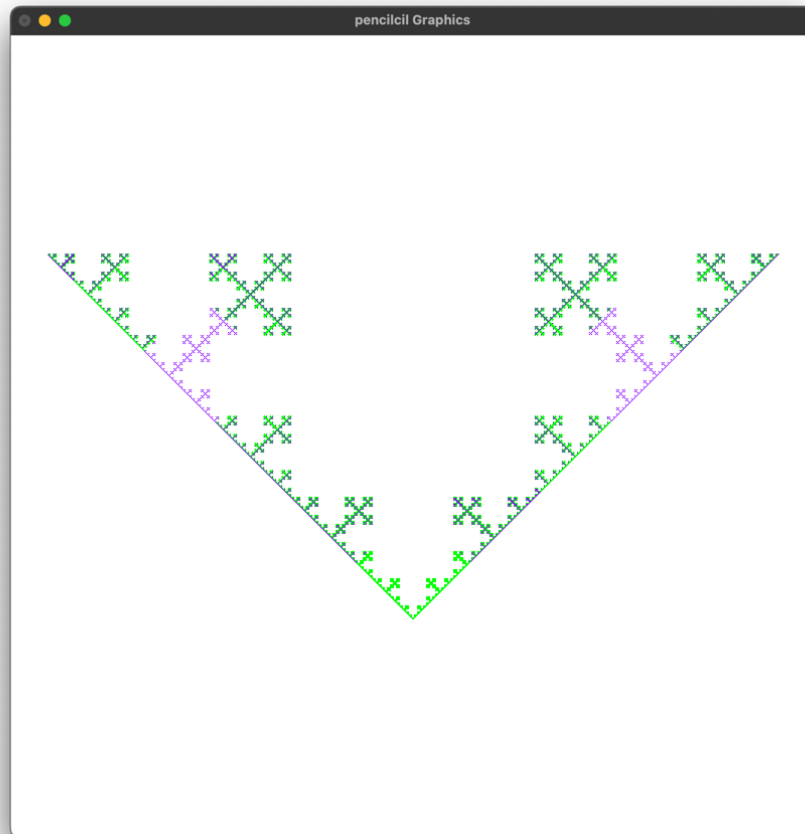


Figure 20: triangle.png

```
display(fulla 7)
```

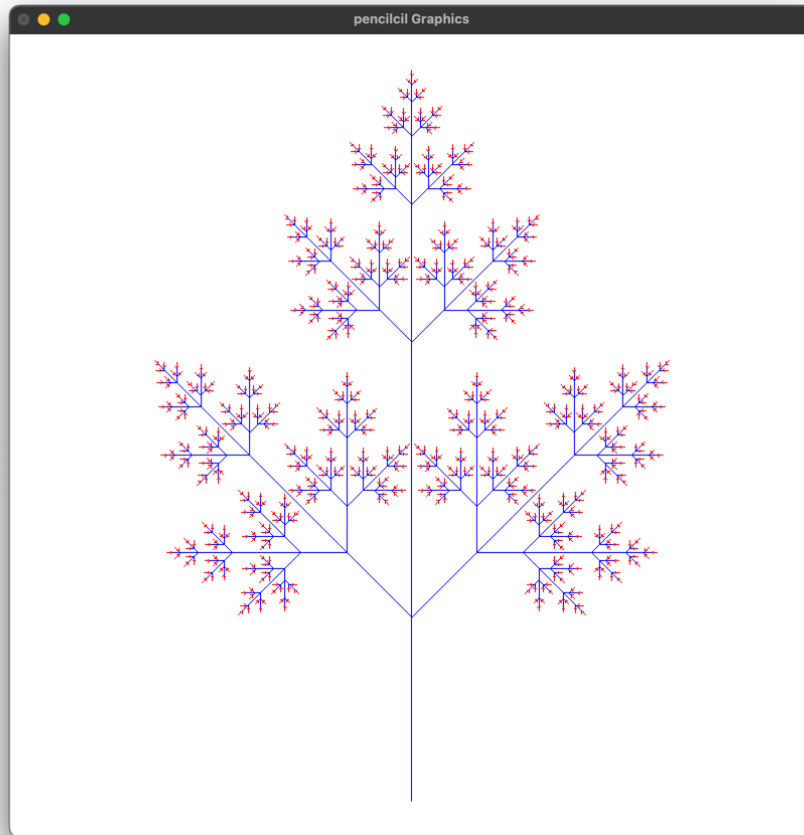


Figure 21: fulla.png

```
display(hilbert 6)
```

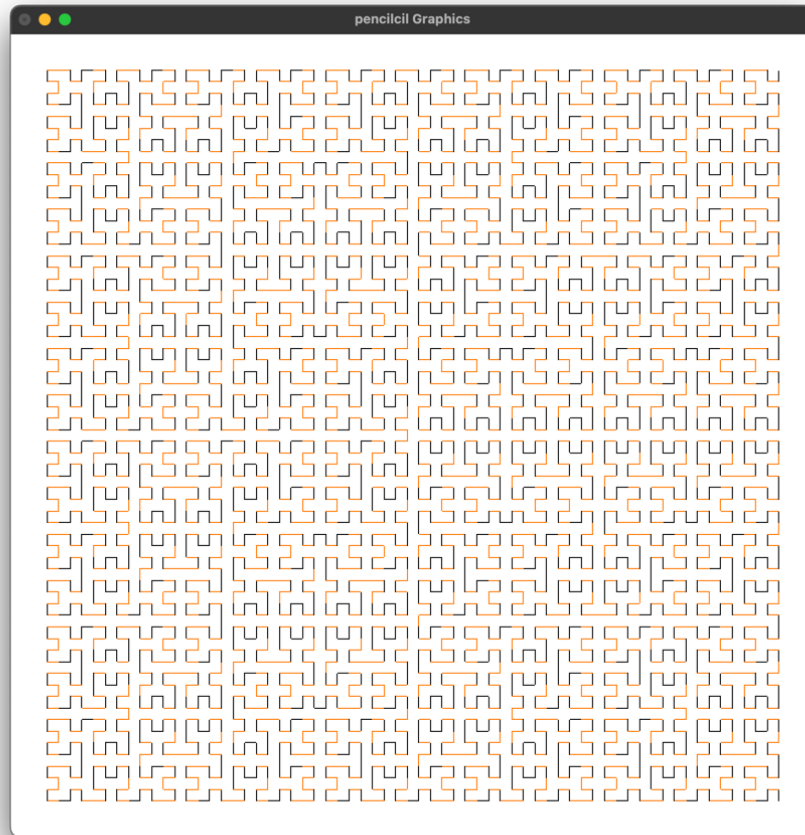


Figure 22: hilbert.png

```
display(fletxa 12)
```

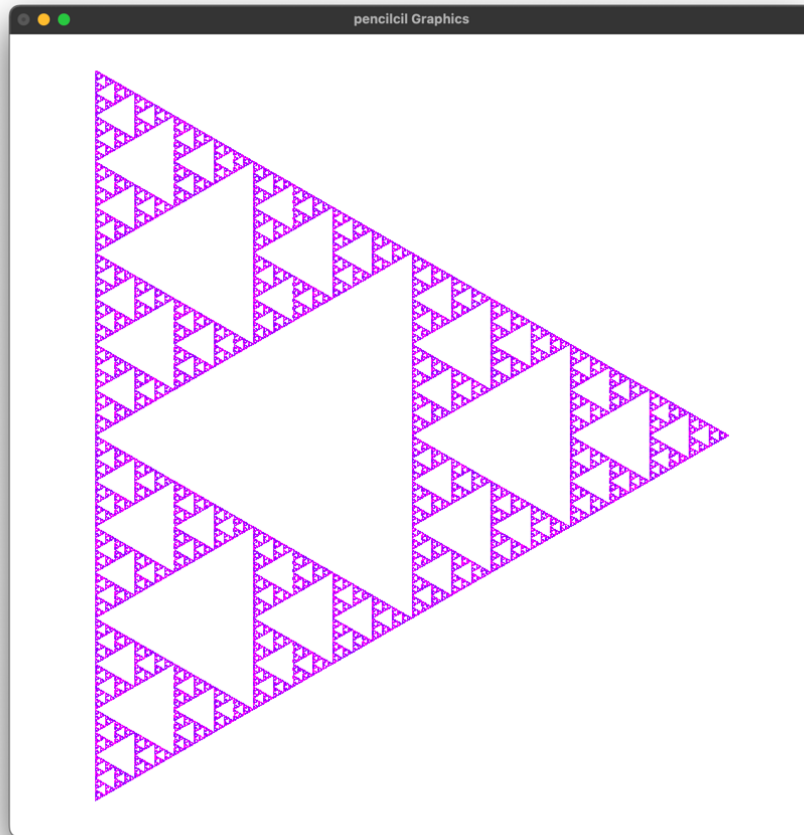


Figure 23: fletxa.png

```
display(branca 12)
```

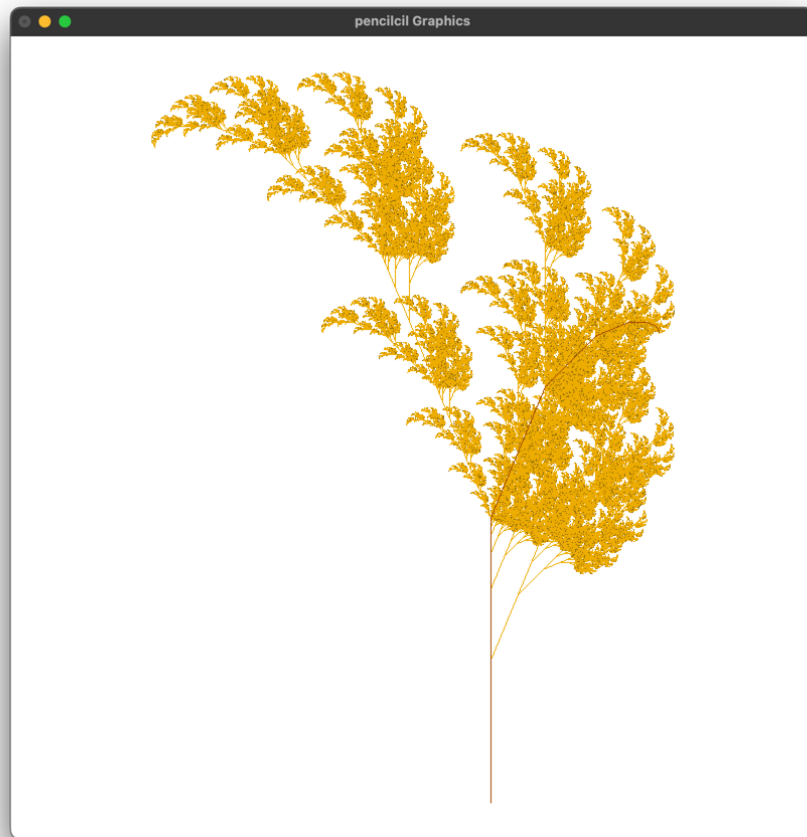


Figure 24: branca.png

Nova Figura basada en una Gramatica que tingui branques

S'han implementat dues Gramatiques amb branques, no hi ha hagut cap canvi a les funcions a part d'afegir les noves definicions i les funcions de reemplaçament, que a part de canvis de colors, no tenen cap diferencia a les anteriors.

Definicions

```
bushGrammar :: Grammar
bushGrammar = Grammar {
    angle = 25.7,
    rules = [('l', "r[-fff][+fff]fl"), ('r', "rfl[+r][-r]")],
    start = "l",
    rewrite = replaceCommandsBush
}

florGrammar :: Grammar
florGrammar = Grammar {
    angle = 12,
    rules = [ ('a', "ffffffv[+++h][---q]~b"),
              ('b', "ffffffv[+++h][---q]~c"),
              ('c', "ffffffv[+++~a]~d"),
              ('d', "ffffffv[+++h][---q]~e"),
              ('e', "ffffffv[+++h][---q]~g"),
              ('g', "ffffffv[---~a]~a"),
              ('h', "i~ff"),
              ('i', "~fff[--m]j"),
              ('j', "~fff[--n]k"),
              ('k', "~fff[--o]l"),
              ('l', "~fff[--p]"),
              ('m', "~fn"),
              ('n', "~fo"),
              ('o', "~fp"),
              ('p', "~f"),
              ('q', "r~f"),
              ('r', "~fff[+~m]s"),
              ('s', "~fff[+~n]t"),
              ('t', "~fff[+~o]u"),
              ('u', "~fff[+~p]"),
              ('v', "fv")
            ],
    start = "af",
    rewrite = replaceCommandsFlor
}
```

```
display(bush 12)
```

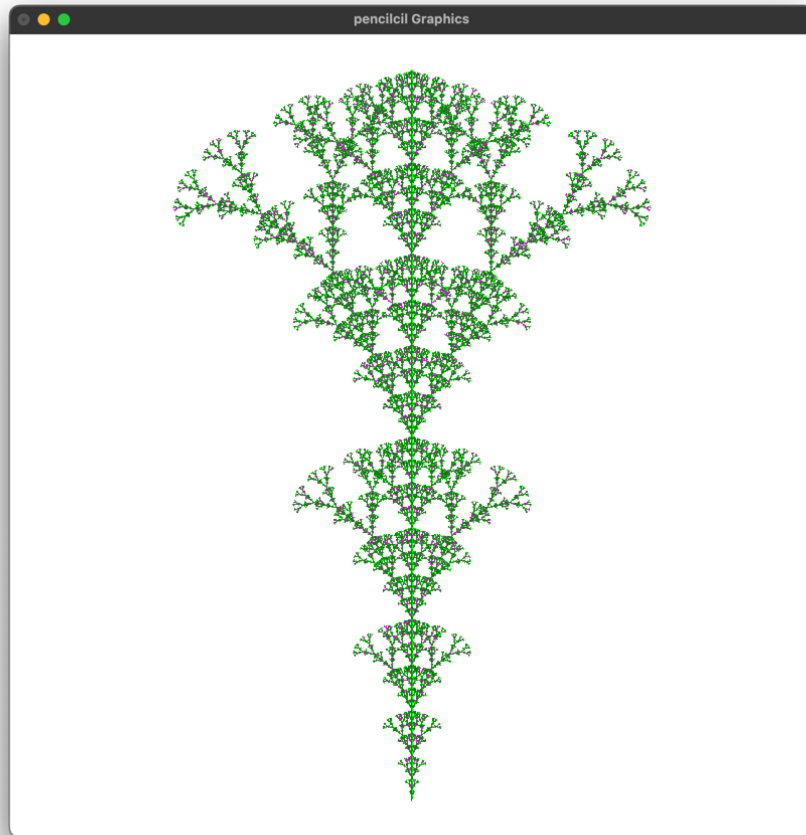


Figure 25: bush.png


```
display(flor 20)
```

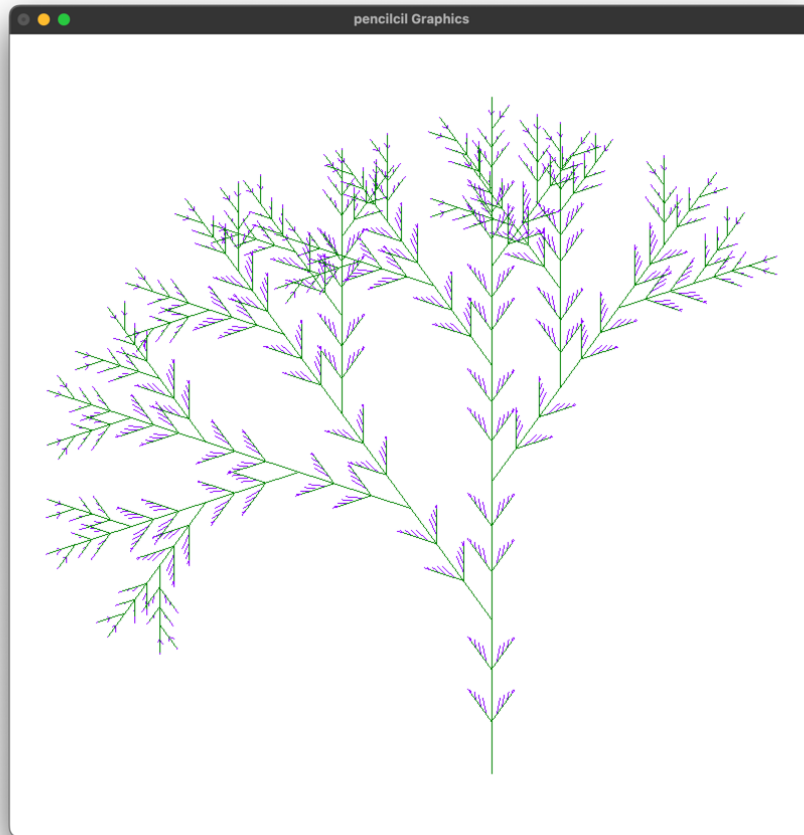


Figure 26: flor.png

Conclusions

Després de fer aquesta pràctica, hem après moltes coses interessants sobre la programació funcional en Haskell. Hem après a utilitzar tècniques de recursió i manipulació de llistes per a implementar les regles dels fractals.

També hem pogut optimitzar les comandes, eliminant les innecessàries i consolidant les consecutives. Això ens ha obligat a comprendre bé com funcionen les llistes en Haskell i com fer servir funcions com ‘fold’ per a manipular-les de manera eficient.

A més, hem après a generar comandes basades en diferents gramàtiques de fractals. Ha sigut interessant veure com regles simples poden crear tanta complexitat en els fractals.

En resum, aquesta pràctica ens ha proporcionat una experiència molt valuosa per a entendre com utilitzar la programació funcional en Haskell per a resoldre problemes d’una manera nova i interessant. Ha estat una experiència divertida.