





# Declarative Programming

José Carpio Cañada  
Gonzalo antonio aranda Corral  
José MarCo de la Rosa



Universidad  
de Huelva

TEACHING  
BOOKS  
[95]

2021

©

Universidad de Huelva  
Servicio de Publicaciones

©

Authors

COPIADORAS BONANZA, S.L.

Printing  
COPIADORAS BONANZA, S.L.

I.S.B.N.

---

## Introduction

The material that we present here aims to guide the student in the study of Logical Programming and Functional Programming, both paradigms included within Declarative Programming.

This material has an eminently practical approach. We have reduced the theoretical concepts to a minimum, including only the elements that we consider essential to understand what a declarative program is. We have included the basic theoretical knowledge so that the student can begin to program declaratively from the first session.

The material is divided into fourteen theoretical sessions and nine practical sessions with an approximate duration of an hour and a half per session. The theoretical sessions include exercises that serve to reinforce the theoretical concepts. In the practical sessions, a series of exercises are proposed that students must program using the computer and the Prolog or Haskell compiler or interpreter, as appropriate.

### How to use this material?

Understanding the philosophy of declarative programming is not an easy task. It requires a change in the way you think about a program. We went from ordering a series of actions (imperative C, C++, Java or Perl programming) to describing the problem using a series of rules (Prolog and Haskell declarative programming). To understand the declarative programming paradigm we need to reinforce the idea that it is possible to program by changing the focus on building programs. This is achieved progressively, starting with simple exercises, increasing the difficulty until implementing exercises with complex data structures such as trees or graphs.

At the beginning, it can help the student to have the computer close by and try the proposed exercises and see that they really work. It is not always obvious to see that a declarative program works after looking at the code. And what is more important, in what way has the solution been reached. This material uses an approach based on the of Mathematical Induction Principle and is supported by this in the process of building the programs. Not all the manuals that we find in the bibliography highlight this idea. Rather, they use an approach similar to the description of other imperative languages, language syntax, and sets of functions, methods, or predicates. We think that in declarative programming it is essential to understand that it is necessary to change the approach when programming and we place special emphasis on this. The idea that from the smallest case (n-1) we deduce the generic case (n) is repeated in most sessions.

After studying this material, if the student has understood how to build the programs, he will not need to mentally follow the execution of the program to know if it works. Based on the principle of induction, she should be able to tell whether the program can work or not after looking at the code. From this moment on, the exercises that at first seemed impossible to understand or program, become understandable from the declarative perspective.

We hope that this is the case and that after studying this material the students understand that programs can be made in a different way.

## **Acknowledgment**

We want to thank the students who attended our classes with attention and interest by contributing many ideas that are now reflected in this teaching manual. To our colleague Manuel Maestre Hachero who kindly offered to review the material and correct it from the vision of a mathematician. To Francisco Moreno Velo, Marcos del Toro Peral, Águeda López Moreno and Diego Muñoz Escalante who taught this course with us and contributed their ideas. To professors Jim Royer and Susan Older from the University of Syracuse in the United States who kindly allowed us to include the exercises from Haskell's second session of this manual.

## **Authors**

José Carpio Cañada  
Gonzalo Antonio Aranda Corral  
José Marco de la Rosa





## CONTENTS

### THEORY

#### Functional programming with Haskell

0. Introduction
1. Definition of functions
2. Priority of operators
3. Lazy evaluation
4. Higher-order functions
5. Curirification
6. Composition of functions
7. Lists
8. Patterns
9. Tuples
10. Recursion

#### Logic programming with Prolog

0. Introduction
1. Unification
2. Data types
  - 2.1 Lists
  - 2.2 Trees
  - 2.3 Graphs
3. Execution control
4. State problems

### PRACTICES

#### Functional programming with Haskell

- Introduction to the Haskell Hugs programming environment
- Lists in Haskell
- Patterns, tuples, recursion and extended list notation in Haskell
- Haskell exercises from previous exams

#### Logic programming with Prolog

- Introduction to the SWI-Prolog environment
- Simple predicates in Prolog
- Predicated on lists in Prolog
- Trees in Prolog
- Graphs in Prolog



# TEORÍA

## Introducción a la programación declarativa

### 0. Introducción

### 1. Paradigmas de programación

### 2. Programación imperativa

### 3. Programación declarativa

#### 3.1 Programación funcional

#### 3.2 Programación lógica

### 4. Bibliografía



## SECTION 0. INTRODUCTION

The objective of this course is to introduce the student to a form of programming based on a paradigm very different from the more usual imperative paradigm.

This task will help the student to improve their capacity for abstraction and to practice with programming concepts such as recursion or lazy evaluation, rare in other programming subjects.

The declarative paradigm provides the student in addition to a conceptual environment frequently used for the study of certain artificial intelligence problems.

## SECTION 1. PROGRAMMING PARADIGMS

Paradigm: (according to the Merriam-Webster dictionary)

*“A philosophical and theoretical framework of a scientific school or discipline within which theories, laws and generalizations, and the experiments performed in support of them are formulated; broadly : a philosophical or theoretical framework of any kind.”*

Computer programming can be defined as the creation of coded descriptions that a computer can interpret to solve a certain problem. We will understand the problem in its broadest form, including any interaction functionality that we can imagine with the different components of the machine.

The programming task will depend entirely on the code interpretation capacity of the computer in question since we will have to adapt the generated descriptions to the language understood by the machine.

In the beginning, the 'programming language' of the machine was something as rudimentary as the electrical connection from one point to another within a circuit. Over time we have arrived at a very diverse range of languages that have been created incrementally on top of that original 'language'.

The various programming languages allow us to communicate with the computer with the intention of solving a problem. However, it is not trivial to establish the way in which it is more interesting to structure this communication and several different approaches have been developed since the beginning of programming until today.

Each programming language addresses problem solving based on a set of concepts and a vision of how the computer should behave to solve these problems. Although there are many programming languages, the sets of concepts and views of the problem domain are not so varied, so that each set usually has several languages associated with it.

Each of these sets of vision and concepts condition the way in which problems and solutions are posed in order to express them in such a way that the computer is capable of solving them. Each of these sets is called a programming paradigm.

Examples of different programming paradigms are:

- Imperative programming
- Structured programming
- Declarative programming
- Logic programming
- Functional programming
- Event-driven programming
- Modular programming
- Aspect-oriented programming
- Object-oriented programming
- Programming with restrictions

## **SECTION 2. IMPERATIVE PROGRAMMING**

The first paradigm that is usually studied is the imperative paradigm. This paradigm understands that to solve a problem a series of steps must be carried out and the programmer is in charge of describing in an orderly and systematic way the steps that the computer must follow to obtain the solution.

Examples of imperative languages, although there are many more, are:

- BASIC
- C
- Fortran
- Pascal
- Perl
- PHP

**Program example: sorting with the bubble algorithm.**

Initial statements:

```
void exchange(int *x,int *y){ int
    temp;
    temp = *x;
    *x = *y;
    *y = temp;
}
void bubble(int list[], int n){ int
    i,j;
    for(i=0;i<(n-1);i++)
        for(j=0;j<(n-(i+1));j++)
            if(list[j] > list[j+1])
                exchange(&list[j],&list[j+1]);
}
```

Problem resolution:

```
void main(){
    // ...
    bubble(list,LIST_ELEMENTS);
    // ...
}
```

**SECTION 3. DECLARATIVE PROGRAMMING**

The declarative paradigm, on the other hand, proposes that the problems be described to the computer with a series of basic conceptual units that can be combined according to certain rules to generate new information. To solve a problem, the descriptions that represent the domain in which the problem to be solved exists will be created and the problem will be posed as a question that must be answered either with one of the initial conceptual units or with a combination valid of them that it is the computer itself who must search.

The conceptual units for the description of the problem will depend on the specific programming sub-paradigm. In this course we will study two sub-paradigms of the declarative programming paradigm: functional programming and logic programming.

In logic programming, the basic conceptual unit will be the logical predicate and in functional programming it will be the function.

In addition to the sub-paradigms mentioned, there are others such as algebraic languages (for example, SQL) or constraint-based programming.

Advantage:

- Compact and very expressive descriptions. It is possible to describe universes of problems with very few lines of language code that allow the solution of a large number of problems.
- Development of the program not so oriented to the solution of a single problem. With proper programming, it is enough to have described a problem domain correctly and to know how to formulate our problem as a simple query in that domain. The variety of questions that can be answered with a single description of the specific problem domain is usually very large.
- There is no need to expend effort in designing an algorithm that solves the problem.

### 3.1 Functional programming

Functional programming is a sub-paradigm of declarative programming that uses function as a basic descriptive concept. This means that in our program we will describe functions and that these functions can be combined with each other to generate new functions. Among other actions that we can perform with functions, we can evaluate them. Our program will therefore consist of the definition of a series of functions that are, in turn, a composition of basic functions and the problem we want to solve will normally be posed as the evaluation of a function based on those previously defined.

Among the different existing functional programming languages, in this subject we will study the **Haskell language**.

<http://www.haskell.org/haskellwiki/Introduction>



Program example: checking that a number is natural.

Initial statements:

```
natural :: (Num a, Ord a) => a -> Bool
natural 1 = True
natural n
  | n > 1 = natural (n-1)
  | otherwise = False
```

Problem resolution::

```
Main> natural (-1)
False :: Bool

Main> natural (10)
True :: Bool

Main> natural (12.5)
False :: Bool
```

### 3.1 Logic Programming

Logic programming is another sub-paradigm of declarative programming that uses the logical predicate as its basic descriptive concept. Our program will consist of a series of predicates that describe a world in which objects are related according to the rules of predicate logic. Our problems will raise statements for which the system will be able to obtain a logical explanation based on the programmed predicates if it exists.

Among the different existing functional programming languages, in this subject we will study the **Prolog** language, specifically the free software version SWI-Prolog.

<http://www.swi-prolog.org/>

**Program example: descent relationships.**

Declaraciones iniciales:

```
%  
father(Father,Son)  
father(joan,peter).  
father(peter,luis).  
padre(iker, yeray).  
  
% descendant(Descendant,Ascestor)  
descendant(Descendant,Ascestor):-  
    father(Ascestor,Descendant).  
descendant(Descendant,Ascestor):-  
    father(Ascestor,Aux),  
    descendant(Descendant,Aux).
```

Resolución de problemas:

```
?-  
father(juan,X). X  
= pedro.  
  
?- descendant(luis, peter).  
true .  
  
?- descendant(X, joan).  
X = peter ;  
X = luis ;  
false.
```

## SECTION 4. BIBLIOGRAPHY

### Bibliografía general

**Programación en *Prolog***

Authors: W.F. Clocksin, C.S. Mellish

Publishing: Springer Verlag

Year: 1994

***Prolog* programming for artificial intelligence**

Autores: Ivan Bratko

Publishing: Addison Wesley

Year: 1990

**Razonando con *Haskell***

Authors: Blas C. Ruíz, F. Gutiérrez, y otros

Publishing: Thompson

Year: 2004

### Specific bibliography

***Prolog*: the standard**

Authors: P. Deransart, A. EdDbali,

L. Cervoni

Editorial: Springer

Año: 1996

**An introduction to computing in *Haskell***

Autores: Manuel M. T. Chakravarty, Gabriele C. Keller

Editorial: Pearson SprintPrint

Año: 2002

**Lenguajes de programación. Principios y paradigmas**

Autores: A. Tucker, R. Noonan

Editorial: Mc GrawHill

Año: 2003



# PROGRAMACIÓN FUNCIONAL CON HASKELL

## Programación funcional con Haskell

### **0. Introducción**

### **1. Definición de funciones**

### **2. Prioridad de operadores**

### **3. Evaluación perezosa**

### **4. Funciones de orden superior**

### **5. Currificación**

### **6. Composición de funciones**

### 7. Listas

### 8. Patrones

### 9. Tuplas

### 10. Recursividad



## SECCIÓN 0. INTRODUCCIÓN

(<http://www.haskell.org/haskellwiki/Introduction>)

### ¿Qué es la programación funcional?

Lenguajes como C, Pascal, Java son lenguajes imperativos. Se llaman imperativos porque lo que hacemos al programar es indicar cómo debe resolverse algún problema. Indicamos el orden en el que deben realizarse las acciones.

```
main() {  
    primero_haz_esto();  
    despues_esto_otro();  
    por_ultimo_esto();  
}
```

El objetivo en la programación funcional es definir QUÉ CALCULAR, pero no cómo calcularlo.

Un ejemplo de programación funcional es la que realizamos cuando programamos una hoja de cálculo:

- No se especifica en qué orden deben calcularse las celdas. Sabemos que se realizarán los cálculos en el orden adecuado para que no existan conflictos con las dependencias.
- No indicamos cómo organizar la memoria. Aparentemente nuestra hoja de cálculo es infinita, sin embargo, sólo se reserva memoria para las celdas que estamos utilizando.
- Indicamos el valor de una celda utilizando una expresión, pero no indicamos la secuencia de pasos a realizar para conseguir este valor.

En una hoja de cálculo no sabemos cuándo se realizan las asignaciones, por lo tanto, no podemos hacer uso de éstas. Ésta es una diferencia fundamental con los lenguajes imperativos como C o Java, en los cuales se debe hacer una cuidadosa especificación de las asignaciones y en lo que controlar el orden de las llamadas a funciones o métodos es crucial para darle sentido al programa.

### Ventajas de la programación funcional

- Programas más concisos
- Más fáciles de comprender
- Sin “core dumps”

## Características de Haskell

Haskell es un lenguaje de programación funcional puro, con **tipos polimórficos estáticos**, con evaluación perezosa (**lazy**), muy diferente a otros lenguajes de programación. El nombre lo toma del matemático Haskell Brooks Curry especializado en lógica matemática. Haskell está basado en el **lambda cálculo**. La letra griega lambda es el logotipo de Haskell

- Inferencia de tipos. La declaración de tipos es opcional
- Evaluación perezosa: sólo se calculan los datos si son requeridos
- Versiones compiladas e interpretadas
- Todo es una expresión
- Las funciones se pueden definir en cualquier lugar, utilizarlas como argumento y devolverlas como resultado de una evaluación.

## Implementaciones de Haskell

Existen diferentes implementaciones de Haskell: GHC, Hugs, nhc98 e Yhc. Para la realización de las prácticas utilizaremos la implementación Hugs ( <http://haskell.org/hugs/> ).

Resumen de las implementaciones existentes de Haskell:

	Mensajes	Tamaño	Herramientas	Notas
<a href="#">Hugs</a>	+/-	++	-	Muy utilizado para aprender Haskell. Compilación rápida. Desarrollo rápido de código.
<a href="#">GHC</a>	+	-	++	El código generado es muy rápido. Posiblemente la implementación más utilizada.
<a href="#">NHC</a>	?	+	++	Con posibilidad de profiling, debugging, tracing
<a href="#">Yhc</a>	?	+	?	Todavía en desarrollo. .
<a href="#">Helium</a>	++	++	-	Creado para la enseñanza.

Para ampliar información sobre las diferentes implementaciones visitar ( <http://www.haskell.org/haskellwiki/Implementations> )

## ¿Qué aprenderemos de Haskell?

En este bloque teórico, veremos una pequeña introducción a Haskell, que nos servirá para poder **construir pequeñas funciones, tener una idea del modo de programar en Haskell** y una **pequeña visión sobre sus posibilidades**.



### ¿Qué nos quedará por aprender sobre Haskell?

- No veremos ejemplos de conexión de Haskell con otros lenguajes.

### ¿Cuándo la programación en C es mejor?

Por lo general, C es más rápido y dependiendo de la implementación, es posible que utilice mucha menos memoria. Haskell, necesita utilizar mucha más memoria y es más lento que C.

En aquellas aplicaciones en las que la velocidad es importante, C puede ser una mejor elección que Haskell, ya que la programación en C tiene mucho más control sobre la máquina real. El lenguaje C es más cercano a la máquina que Haskell.

### ¿Es posible conectar Haskell con otros lenguajes de programación?

**HaskellDirect** es una herramienta basada en **IDL (Interface Description Language)** que permite a los programas Haskell trabajar con componentes software. Es posible utilizar funciones C/C++ desde Haskell utilizando **Green Card** o **C->Haskell**,

## SECCIÓN 1. DEFINICIÓN DE FUNCIONES/ DEFINICIONES LOCALES

```
{- ----- -}
-- DECLARACIÓN
noNegativo::(Num a, Ord a)=>a->Bool
{- PROPÓSITO
    Devuelve True si x es >= 0, False en otro caso
-}
-- DEFINICIÓN
noNegativo x = x >= 0
{-PRUEBAS
pru1 = positivo (-2.5) -- devuelve False
pru2 = positivo 0-- devuelve True
pru3 = positivo 5-- devuelve True
-}
{- ----- -}
```

Veamos los elementos necesarios para definir una función.

Lo primero que encontramos es un **comentario**.

- Para **comentar un bloque** {- }
- Para **comentar una línea** --

Después del bloque comentado, encontramos la cabecera de la función.

```
<nombre_funcion>::<declaración_de_tipos>
```

El **nombre de la función** empieza por una letra minúscula y después puede continuar con mayúscula o minúsculas.

Para **definir los tipos de la función** podemos utilizar variables de tipos pertenecientes a alguna clase (Eq, Ord, Enum, Num, Fractional, etc.) o con tipos básicos (Int,Integer,Float, Doble, Char, etc.).

Haskell puede inferir qué tipos de datos necesita la función. Se inferirá la cabecera más genérica posible. Para inferir el tipo de dato, Haskell se sirve de los operadores y las funciones utilizadas en la definición de la función.

**Para los ejercicios que se propongan en este curso, será obligatoria la definición de las cabeceras de la funciones.**

Ejemplos de tipos de datos utilizados por los operadores:

a) Si utilizamos el operador “==” el tipo que utilicemos debe ser comparable (de la clase Eq).

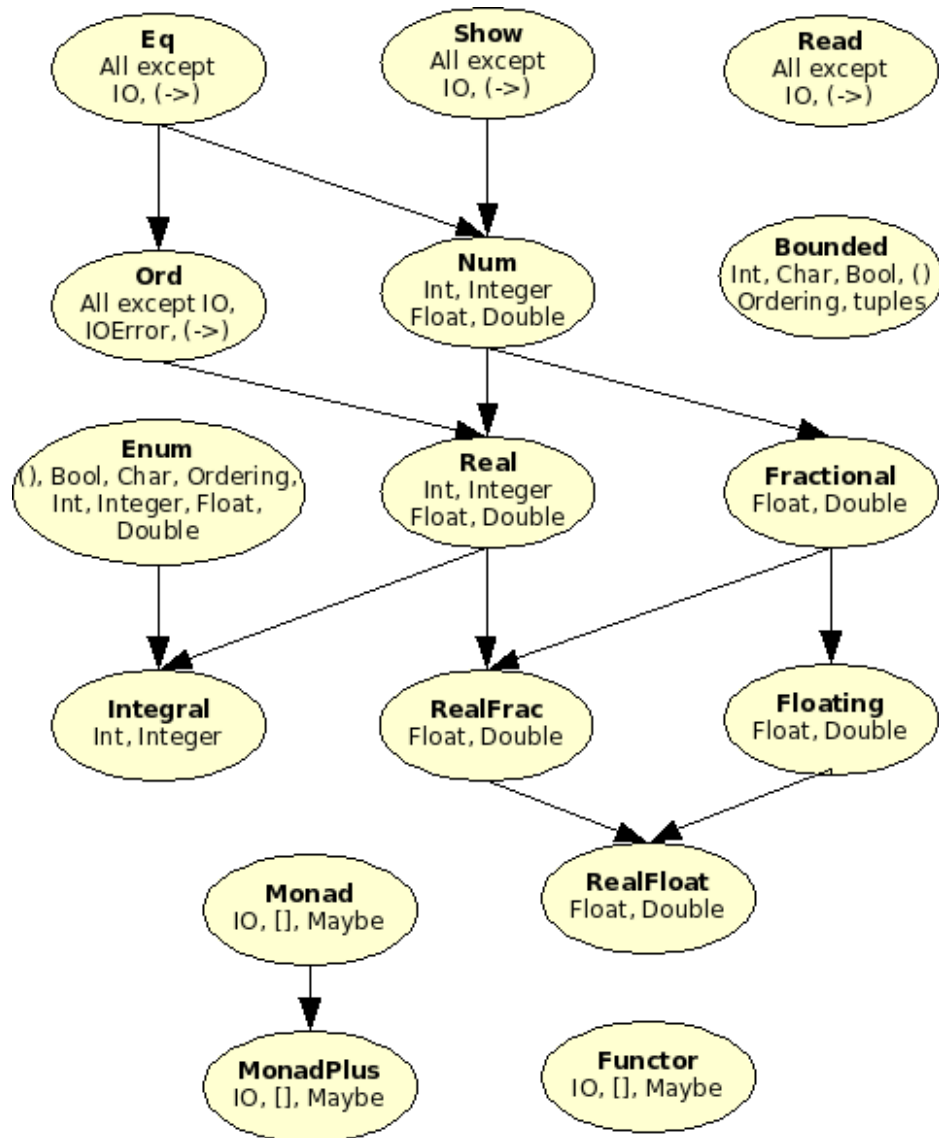
```
Hugs> :info ==
infix 4 ==
(==) :: Eq a => a -> a -> Bool -- class member
```

b) Si nuestra función contiene el operador “>”, el tipo debe ser ordenable (de la clase Ord)

```
Hugs> :info <
infix 4 <
(<) :: Ord a => a -> a -> Bool -- class member
```

c) Si nuestra función contiene el operador “+”, el tipo debe ser numérico

```
Hugs> :info +
infixl 6 +
(+) :: Num a => a -> a -> a -- class member
```

**Clasificación de tipos en Haskell:**

A continuación veremos algunos **ejemplos de definición de tipos de funciones**:

a) Función identidad:

```
identidad :: a -> a
identidad x = x
```

Esta definición indica que la función recibe un tipo *a* y devuelve un tipo *a*.

**b) Función iguales:**

```
iguales::a->a->a->Bool
iguales x y z = x==y && y==z
```

```
ERROR file:.\iguales.hs:2 - Cannot justify constraints
in explicitly typed binding
*** Expression: iguales
*** Type: a -> a -> a -> Bool
*** Given context : ()
*** Constraints: Eq a
```

Necesitamos añadir una restricción al tipo “a”

```
iguales::Eq a=>a->a->a->Bool
iguales x y z = x==y && y==z
```

```
Main> iguales 1 1 1
True :: Bool
```

**c) Función divide**

```
divide::Fractional a => a -> a -> a
divide x y = x / y
```

Tenemos diferentes posibilidades a la hora de definir funciones:

- Utilizando varias ecuaciones (escribiendo cada ecuación en una línea)
- Guardas (en inglés “guards”, barreras, defensas, “|”)
- If then else
- Case
- En definiciones locales

**1.1) Utilizando varias ecuaciones**

```
factorial::Int->Int
factorial 0 = 1
factorial n = n * factorial (n-1)
```

**1.2) Guardas**

```
factorial n
  | n==0 = 1
  | n > 0 = n * factorial (n-1)
  | otherwise = error "valor negativo"
```

### 1.3) If then else

```
factorial n = if (n==0) then 1 else n*factorial (n-1)
```

### 1.4) Case

```
traduce x = case x of
  1 -> "A"
  2 -> "B"
  3 -> "C"
```

### 1.5) Definiciones locales

Es posible definir una función en cualquier punto de otra función:

```
divisible::Int->Int->Bool
divisible x y = resto == 0
    where resto = mod x y
```

Es muy importante que la definición esté algunos espacios a la derecha de la posición en la que empieza a definirse la función. En otro caso, Haskell mostrará un error.

## SECCIÓN 2. PRIORIDAD DE OPERADORES

En la siguiente tabla se definen las prioridades de los operadores definidos en el módulo Prelude:

Notación	Prioridad	Operador
infixr	9	.
infixl	9	!!
infixr	8	^, ^^, **
infixl	7	*, /, `quot`, `rem`, `div`, `mod`
infixl	6	+, -
infixr	5	:
infixr	5	++
infix	4	==, /=, <, <=, >=, >, `elem`, `notElem`
infixr	3	&&
infixr	2	
infixl	1	>>, >>=
infixr	1	=<<
infixr	0	`, \$, \$!, `seq`

La notación **infix** indica que el operador es infijo, es decir, que se escribe entre los operandos. En el caso de encadenar operadores no se define ninguna prioridad.

```
Hugs> 1 == 1 == 1
ERROR - Ambiguous use of operator "(==)" with "(==)"
```

Necesitamos explicitar la prioridad con paréntesis:

```
Hugs> (1 == 1) == 1
ERROR - Cannot infer instance
*** Instance: Num Bool
*** Expression : (1 == 1) == 1
```

El resultado de evaluar la primera expresión es True. El error viene dado por la definición del operador “==”:

```
Hugs> :info ==
infix 4 ==
(==) :: Eq a => a -> a -> Bool -- class member
```

El operador se define para dos elementos del mismo tipo, que pertenecen a la clase **Eq** (equivalente).

```
Hugs> (1 == 1) == True
True :: Bool
```

**Infixl** indica que, en caso de igualdad de precedencia se evaluará primero la izquierda:

```
Hugs> 1 - 2 - 1
-2 :: Integer
```

**Infixr** indica que, en caso de igualdad de precedencia se evaluará primero el operador que está más a la derecha:

```
Hugs> 2 ^ 1 ^ 2
2 :: Integer
```

Cuando utilizamos funciones y operadores en la misma expresión, tendrá mayor prioridad la función:

```
Hugs> succ 5 * 2
12 :: Integer
```

El operador que mayor precedencia tiene es la composición de funciones “.”.

```
Hugs> succ . pred 4
ERROR - Cannot infer instance
```

```
*** Instance: Enum (b -> a)
*** Expression : succ . pred 4
```

Se produce un error debido a que primero se realiza la operación `pred 4`. El resultado es el número 3. Después se intenta realizar la composición del número 3 con la función `succ`. Para poder realizar una composición de funciones son necesarias dos funciones. No es posible componer una función con un número. De esta forma, ponemos de manifiesto que entre un operador (sea cual sea) y una función, primero se evaluará la función:

```
Hugs> (succ . pred) 4
4 :: Integer
```

Como ejemplo, implementaremos la siguiente función, utilizando la función `fromIntegral`, que convierte valores de tipo enteros a un tipo numérico general, y evitando utilizar paréntesis innecesarios

$$\max(x, y) = \frac{(x+y) + |x-y|}{2}$$

```
max x y = fromIntegral (x+y + abs (x-y)) / 2.0
```

Nos quedaría definir cuál es la orden precedencia entre dos funciones.

```
Hugs> succ pred 4
ERROR - Cannot infer instance
*** Instance: Enum (a -> a)
*** Expression : succ pred 4
```

En caso de encadenamiento de funciones con la misma prioridad, la evaluación se realiza de izquierda a derecha. Primero se intenta evaluar `succ pred`, y como la función `succ` está definida sólo para tipos enumerables, al intentar evaluar el sucesor de `pred` se produce un error.

```
Hugs> succ (pred 4)
4 :: Integer
```



### SECCIÓN 3. EVALUACIÓN PEREZOSA

Los lenguajes que utilizan esta técnica sólo evalúan una expresión cuando se necesita:

```
soloPrimero::a->b->a
soloPrimero x _ = x

Main> soloPrimero 4 (7/0)
4 :: Integer
```

El subrayado “\_” denota que se espera un parámetro pero que no se necesita nombrarlo ya que no se va a utilizar en el cuerpo de la función.

La expresión 7/0 en Haskell tiene el valor Infinito. La evaluación de la expresión anterior provocaría un error en la mayoría de los lenguajes imperativos, sin embargo en Haskell no se produce un error debido a que el segundo argumento no llega a evaluarse por no ser necesario.

### SECCIÓN 4. FUNCIONES DE ORDEN SUPERIOR

Las funciones de orden superior son aquellas que reciben una o más funciones como argumentos de entrada y/o devuelven una función como salida.

Un ejemplo de función de orden superior es la función `map` implementada en el módulo `Prelude`. Esta función recibe una función y una lista y aplica la función a cada elemento de la lista:

```
map:: (a->b)->[a]->[b]
map _ [] = []
map f (cab:resto) = f cab : map f resto

Main> map succ [1,2,3]
[2,3,4] :: [Integer]
```

La función `f` que pasamos como argumento a `map` debe cumplir una restricción: el tipo de dato que recibe debe ser el mismo de los elementos de la lista.

### SECCIÓN 5. CURRIFICACIÓN

El proceso de currificación toma nombre de Haskell Brooks Curry cuyos trabajos en lógica matemática sirvieron de base a los lenguajes funcionales.

Consiste en realizar la llamada a una función utilizando sólo algunos de los parámetros que están más a la izquierda.

```
suma :: Int -> Int -> Int -> Int
suma x y z = x + y + z
```

Podemos hacer las siguientes llamadas:

- a) suma 1 -> devuelve una función que recibe dos enteros y devuelve otro.
- b) suma 1 2 -> devuelve una función que recibe un entero y devuelve otro.
- c) suma 1 2 3 -> devuelve el entero 6

Podemos utilizar la función currificada como argumento de otra función de orden superior:

```
Main> map (suma 1 1) [1,2,3]
[3,4,5] :: [Int]
```

## SECCIÓN 6. COMPOSICIÓN DE FUNCIONES

$$f.g \ (x) = f(g(x))$$

Haskell dispone de un operador para componer funciones. Se trata del operador “.”:

```
Main> :info .
infixr 9 .
(.) :: (a -> b) -> (c -> a) -> c -> b
```

Para poder componer dos funciones, éstas deben cumplir una serie de restricciones. Si observamos la cabecera del operador “.”, podemos comprobar que el segundo argumento es una función  $(c \rightarrow a)$ , que el primer argumento es una función  $(a \rightarrow b)$ , que el valor al que se quiere aplicar la composición es de tipo  $c$  y que el valor de salida es de tipo  $c$ .

La restricción más importante es que si queremos hacer la composición  $f.g$ , el tipo de salida de la función  $g$ , debe ser el de entrada de la función  $f$ .

Veamos un ejemplo:

```
Main> ((==True).(<0)) 5
False :: Bool
```

La función  $(<0)$  devuelve un tipo Bool, que es el que recibe la función  $(==True)$ . El resultado de la composición de las dos funciones es de tipo Bool.

# PROGRAMACIÓN FUNCIONAL CON HASKELL

0. Introducción

1. Definición de funciones

2. Prioridad de operadores

3. Evaluación perezosa

4. Funciones de orden superior

5. Currificación

6. Composición de funciones

**7. Listas**

**8. Patrones**

**9. Tuplas**

10. Recursividad



## SECCIÓN 7. LISTAS

Haskell proporciona un mecanismo para definir fácilmente listas:

- a) [1..10]                      d) [ 'q' .. 'z' ]
- b) [15..20]                   e) [14..2]
- c) [15..(20-5)]

### Notación extendida de listas

La definición de una lista utilizando esta notación consta de tres partes: 1) generador, 2) restricciones (puede que no haya ninguna) y 3) transformación. El generador produce elementos de una o varias listas, las restricciones filtran algunos elementos de los generados y la transformación utiliza los elementos seleccionados para generar una lista resultado.

```
[ (x,True) | x <- [1 .. 20], even x, x < 15]
|_____| |_____| |_____|
Transformación  Generador      Restricciones
```

En este ejemplo, `x <- [1..20]` es el generador, las restricciones son `even x` y `x < 15`, y `(x, True)` es la transformación. Esta expresión genera una lista de pares `(x, True)` donde `x` está entre 1 y 20, es par y menor que 15. (even es una función definida en el módulo Prelude standard de Haskell).

### Funciones más usuales sobre listas

Cabecera de la función	Explicación
<code>(:) :: a -&gt; [a] -&gt; [a]</code>	Añade un elemento al principio de la lista
<code>(++) :: [a] -&gt; [a] -&gt; [a]</code>	Concatenar dos listas
<code>(!!) :: [a] -&gt; Int -&gt; a</code>	Devuelve el elemento n-ésimo
<code>null :: [a] -&gt; Bool</code>	Devuelve True si lista == []
<code>length :: [a] -&gt; Int</code>	Devuelve la longitud de una lista
<code>head :: [a] -&gt; a</code>	Devuelve el primer elemento
<code>tail :: [a] -&gt; [a]</code>	Todos menos el primero
<code>take :: Int -&gt; [a] -&gt; [a]</code>	Toma los primeros n elementos
<code>drop :: Int -&gt; [a] -&gt; [a]</code>	Elimina los n primeros elementos
<code>reverse :: [a] -&gt; [a]</code>	Invierte el orden de los elementos
<code>zip :: [a] -&gt; [b] -&gt; [(a,b)]</code>	Crea una lista de pares zip "abc" "123" >>
<code>unzip :: [(a,b)] -&gt; ([a],[b])</code>	A partir de una lista de tuplas genera dos listas
<code>sum :: Num a =&gt; [a] -&gt; a</code>	Suma los elementos de una lista
<code>product :: Num a =&gt; [a] -&gt; a</code>	Multiplica los elementos de una lista

Consulte información sobre las funciones definidas para listas en el módulo Prelude. <http://www.cs.ut.ee/~varmo/MFP2004/PreludeTour.pdf>

## SECCIÓN 8. PATRONES

Veamos una implementación posible de la función `map`:

```
map :: (a -> b) -> [a] -> [b]
map _ [] = []
map f (cab:resto) = f cab : map f resto
```

En el ejemplo anterior:

`[]` es el patrón que empareja con una lista vacía.

`(cab:resto)` empareja con una lista (el operador “`:`” devuelve una lista) cuyo primer elemento es “`cab`” y el resto es “`resto`”.

```
Hugs> :info :
infixr 5 :
(:) :: a -> [a] -> [a] -- data constructor
```

`f` empareja con cualquier valor del tipo esperado (por la cabecera de la función `map`, `f` debe ser una función) y `f` se instancia a esa función.

`_` empareja con cualquier valor del tipo esperado, sin embargo, no se hace una asignación a la variable “`_`”: sencillamente se ignora el valor.

Luego el emparejamiento de patrones es una forma de asignar valores a variables y, al mismo tiempo, una forma de dividir expresiones en sub-expresiones.

### ¿Qué podemos utilizar como patrón?

Existe un conjunto dado de patrones de emparejamiento, de modo que no es posible hacer emparejamientos con todas las construcciones del lenguaje que nos parezcan posibles sino sólo con aquellas que nos permita Haskell. Por ejemplo:

```
eliminarTres ([x,y,z] ++ resto) = resto
```

Esta definición de la función `eliminarTres` provoca un error:

```
ERROR file:.\eliminarTres.hs:2 - Syntax error in input (unexpected symbol
"++")
```

El problema surge porque el operador “`++`” no está permitido en los patrones. En los patrones sólo se permiten constructores y constantes (1,2, True, False, etc). Un constructor tiene la forma: `data Bool = True | False`

```
data [a] = [] | a:[a]
Main> :info :
```

```
infixr 5 :
(:) :: a -> [a] -> [a] -- data constructor
```

Cuando solicitamos información sobre un operador Haskell indica si se trata de un constructor.

[] y “:” son constructores para listas. La función eliminarTres puede implementarse así:

```
Eeliminar :: [a] -> [a]
EliminarTres (_:_:_:resto) = resto
```

Es importante el tipo del constructor, pero no el número. En el ejemplo anterior se utiliza el operador “:” como patrón tres veces.

## Excepción

Hay una excepción a la regla del uso de los constructores en patrones. Se trata del patrón  $(n+k)$ .

```
predecesor :: Int -> Int
predecesor (n+1) = n
```

No podemos utilizar cualquier valor para que empareje con  $(n+k)$ . Sólo podemos utilizar enteros (Int ó Integer). Además, el valor tiene que ser mayor o igual que k.

```
Main> predecesor 0
{throw (PatternMatchFail (_nprint 0 (predecesor 0) []))} :: Integer
```

## Alias de patrones

Los patrones se utilizan en ocasiones para dividir expresiones. En estos casos, puede ser interesante tener acceso a la expresión completa. Para ello, utilizaremos los alias de patrones. Escribiremos `nombre_variable@<patrón>`. Por ejemplo, una función que elimina los caracteres en blanco que se encuentran al principio de una cadena de caracteres:

```
quitaBlancosPrinc :: String -> String
-- equivalente a quitaBlancosPrinc :: [Char] -> [Char]
quitaBlancosPrinc cadena@(cab:resto)
  | cab == ' ' = quitaBlancosPrinc resto
  | otherwise = cadena
```

o este otro, una versión del factorial utilizando un alias de patrón:

```
factorial :: Integral a => a -> a
factorial 0 = 1
factorial m@(n+1) = m * factorial n
```

Utilizaremos los patrones en ecuaciones, cláusulas `let` y `where`, expresiones `case` y listas.

## SECCIÓN 9. TUPLAS

Podemos agrupar expresiones de distinto tipo en una tupla. Por ejemplo:

- a) `(1,2)`
- b) `('a',1,"Hola")`
- c) `((1,2),[3,4],(0,'a'))`
- d) `((+),7,(*))`

Veamos de qué tipo son las tuplas anteriores:

```
Main> :t (1,2)
(1,2) :: (Num a, Num b) => (b,a)
Main> :t ('a',1,"Hola")
('a',1,"Hola") :: Num a => (Char,a,[Char])
Main> :t ((+),7,(*))
((+),7,(*)) :: (Num a, Num b, Num c) => (c -> c -> c,b,a -> a -> a)
Main> :t ((1,2), [3,4], (0,'a'))
((1,2),[3,4],(0,'a')) :: (Num a, Num b, Num c, Num d) =>
((c,d),[b],(a,Char))
```

Algunos ejemplos de funciones con tuplas:

- a) `primero (x,y) = x`
- b) `primero2 (x,y,z) = x`

```
Main> primero (1,2,3)
ERROR - Type error in application
*** Expression      : Main.primero (1,2,3)
*** Term            : (1,2,3)
*** Type            : (c,d,e)
*** Does not match : (a,b)

Main> primero2 (1,2,3)
1 :: Integer
```

### Definición de tipos con tuplas

Veamos el siguiente ejemplo:

```
type Entrada = (Persona, Edad, Telefono)

type Persona = String
type Edad = Int
type Telefono = String
```



```
type Listin = [Entrada]

encontrar::Listin -> Persona -> [Telefono]

encontrar lista persona = [telef | (per, edad, telef) <- lista,
persona == per]

Main> encontrar [("Pedro", 20, "636000000"), ("Juan",
21,"607222222"), ("Alberto", 24, "635111111")] "Pedro"

["636000000"] :: [Main.Telefono]

Main> encontrar [("Pedro", 20, "636000000"), ("Juan",
21,"607222222"), ("Alberto", 24, "635111111"), ("Pedro", 20,
"635444444")] "Pedro"

["636000000","635444444"] :: [Main.Telefono]
```



# PROGRAMACIÓN FUNCIONAL CON HASKELL

0. Introducción

1. Definición de funciones

2. Prioridad de operadores

3. Evaluación perezosa

4. Funciones de orden superior

5. Currificación

6. Composición de funciones

7. Listas

8. Patrones

9. Tuplas

**10. Recursivity**



## SECTION 10. RECURSIVITY

In Haskell we don't have the ability to define loops. The way to "iterate" is by using recursion. A recursive function is one that in its definition contains a call to itself.

Recursion relies on the principle of induction. This principle is widely used in mathematics to show that a property is true for any value in the scope being treated.

### Mathematical Induction:

- (1) The statement  $P$  is true for an initial value  $n_0$  ("base case")
- (2)  $P$  will be true for a value  $n > n_0$ , if it is true for the value before  $n$ , that is, if  $P$  is true for  $(n-1)$  so it will be true for  $n$ .

We can use the principle of induction to define the natural numbers:

- 1) The number 1 is natural.
- 2)  $n$  is natural if  $n-1$  is

natural.

With Haskell:

```
natural 1 = True
natural n = natural (n-1)
Main> natural 5
True :: Bool
```

**The mathematical induction works !! -> Let's use it.**

but ...

```
Main> natural (-3)
```

It does not finish!!!

The same happens with the number "3.5". We have not taken into account that the value has to be greater than the first. A new version:

```
natural :: (Num a, Ord a) => a -> Bool
natural 1 = True
natural n
  | n > 1      = natural (n-1)
  | otherwise = False

Main> natural (-1)
False :: Bool
```

```
Main> natural 3.5
False :: Bool
```

**Important recommendation:** We will not mentally follow the sequence of recursive calls to solve the problems. We will focus on defining well the base case (the first element that fulfills the property) and the relationship of a value  $n$  with the previous one.

### Example of recursion with lists

We will transfer the same idea to solving a recursive problem with lists. We will recursively define a function that returns the number of elements in a list.

For this problem, the first case is not 1. What is the first known true case for lists? In this case (and in most list problems) the first known case corresponds to the empty list. It is the smallest list, just as 0 is the smallest natural.

```
numElements [] = 0
```

This equation fulfills the property: it is true that an empty list has zero elements.

Let's see what happens to  $n$ . Now we do not have a number  $n$  and a previous number  $n-1$  as it happened with the natural ones. The example of the natural numbers says that, if the property is true for  $n-1$ , it will be true for  $n$ .

How do we construct the value  $n$  and the  $n-1$  with lists?

We will use the pattern "head:tail" that separates the first element from the rest.

Our element  $n$  will be the complete list, and element  $n-1$  will be the list with one less element (the content of the variable remainder).

***If numElements (tail) then numElements (head:tail)***

***If numElements (tail) is true, it will return the number of elements that the rest of the list contains (everything but the first).***

***By the principle of induction we know that:***

***If numElements (tail) is true (returns the correct value) numElements (head:tail) it will be too.***

### ¿ What are we going to find in numElements (head: tail)?

To know what we find, we will use the value returned by numElements tail  
[https://www.youtube.com/channel/UCdPmeK-zVtvYS4qX\\_Wa87Wg](https://www.youtube.com/channel/UCdPmeK-zVtvYS4qX_Wa87Wg)

numElements (head:tail) =	numElements tail
_____	_____
We want to know this	We will assume that we
value	know that value

### ¿ What change do I have to make in the partial output, to get the total output?

This will be the question we will always ask to solve a recursive problem.

In this case the transformation is simple. If we know how many elements the tail of the list has, to know how many the full list has, it will be enough to add one.

numElements (head:tail) = 1	+	numElements tail
_____		_____
We want to know this		We will assume that we
value		know that value

Let's look at another somewhat more complicated example:

We wish to implement the foldl function defined in Haskell Prelude. This function is defined for non-empty lists. We can find an example in the document "A tour of the Haskell Prelude" <http://www.cs.ut.ee/~varmo/MFP2004/PreludeTour.pdf>

```
foldl :: (a -> b -> a) -> a -> [b] -> a
```

Description: Joins the elements of a list using a binary operator and an initial element, using left association. When the input list is empty, it returns the initial element.

Let's spend some time understanding what the function does. For this we can do some more example:

```
Hugs> foldl (^) 1 []
1 :: Integer

Hugs> foldl (^) 1 [2]
1 :: Integer
(1^2)

Hugs> foldl (^) 1 [2,3]
1 :: Integer
(1^2)^3
```

Now that we have something more clear what the function does. Let's start with the implementation:

- 1) **1) We will start with the base case.** This is usually the simplest case. It must be true on its own, regardless of what we write next. It is usually described in the definition of the function or it is very obvious, as in the case of the function `numElem []` whose result is 0.

En este caso:

```
foldl f el [] = el
```

- 2) **2) Recursive case.** We will start by raising the recursive case as follows:

```
foldl f el (cab:resto) =  
foldl f el resto
```

For list problems, we will use the same technique in most cases, separate the head from the rest of the list using the ":" operator. Now, we will focus on finding out what the called function returns with a list of one less element as a parameter. For this it is best to write an example:

```
foldl (^) 1 [2,3,4] -> (((1^2)^3)^4)
```

with one less element:

```
foldl (^) 1 [3,4] -> ((1^3)^4)
```

Now we will ask ourselves:

**What transformation do I have to do on the result of the function that has one less element so that it becomes the result of the entire list?**

We look for the differences between partial and total output.

```
((1^2)^3)^4 -> Total output
```

```
(( 1 ^3)^4) -> Parcial output
```

Looking at the two outputs, we see that the difference is that the partial output contains a "1" and the total contains "1 ^ 2", with 2 being the first item in the list. The rest is the same. It seems that the difference is only in the second element of the function. The change that the partial function call needs is to change the element "el" to "el ^ head". In a more generic way: "f el head"

We will complete the recursive call with the change. Where we wrote "el", we will write "f el head".



```
foldl f el (head:tail) =
```

```
foldl f el tail
  |____|
we will change el
to
  f el tail
```

```
foldl f el (head:tail) =
```

```
foldl f (f el head) tail
```

Finally the function will be as follows:

```
foldl :: (a -> b -> a) -> a -> [b] -> a
foldl f el [] = el
foldl f el (head:tail) =
foldl f (f el head) tail
```

```
Main> foldl2 (^) 1 [2,3,4]
1 :: Integer
```

```
Main> foldl (++) "com" ["po", "se"]
"compose" :: [Char]
```

### ¿ How to check if a recursive function is correct?

I must answer the following questions:

- 1) Is the base case true?
- 2) Does the recursive case tend to the base case?
- 3) Are all cases covered only once??
- 4) From the recursive output (n-1) can I build the general output (n)? Yes/No.  
Have the changes been made correctly?

In general, we can say that:

"If the answers to these questions are affirmative, the recursive function will work".

Yes. But how do you get to the solution?

Answer: Always asking the problem with one less element.

What happens is that a series of questions are chained until the base case is reached. From the solution provided by the base case, the rest of the partial solutions are constructed until reaching the first of the questions..

```
num_elem [1,2,3] --> num_elem [2,3] --> num_elem [3] --> num_elem []
                                                    |
                                                    |
1+1+1+0 <----- 1+1+0 <----- 1+0 <----- 0
```

What if any of the answers is false?

- 1) If the base case is not true, the solution will be built from an erroneous premise.
- 2) If the recursive case did not tend to the base case, it could not ensure that the problem ends.
- 3) If any of the cases were not contemplated, the sequence of questions will be broken and the base case will not be reached.
  - If from the recursive call I cannot build the general solution, it will not be possible to find the solution.

If we do not build the general solution well from the partial solution (n-1), the result will not be correct.

# LOGIC PROGRAMMING WITH PROLOG

## **0. Introduction**

### 1. Unificación

### 2. Tipos de datos

#### 2.1 Listas

#### 2.2 Árboles

#### 2.3 Grafos

### 3. Control de la ejecución

### 4. Problemas de estados



## SECTION 0. INTRODUCTION

### Propositional Logic:

Use simple statements (propositions). We will write rules to indicate that if an event (antecedent) occurs then a consequence (consequent) will occur.

```

If it rains -> the plants will be watered
|_____| |_____|
Antecedent      Consequent
|_____|
                RULE

```

With the above rule, it is not indicated that *it is raining*. To affirm that it rains we need a fact.

```

        it rains
|_____|
        FACT

```

A clause is a rule or a fact.

With clauses we will create a knowledge base (a representation of what we know). Once the knowledge base is defined, we will carry out queries.

A "logic program" is made up of two elements:

**"Logic program" = Knowledge base + Queries**

*Prolog syntax: We will write the rules starting with the consequent. All clauses end with a period "." We write the rule If it rains -> the plants are watered in this way:*

```
plants_are_watered :- it_rains.
```

First Prolog program using only statements:

```
% My first Prolog program
plants_are_watered :- it_rains.
it_rains.
```

To affirm that it rains, we will write the following fact: `it_rains.`

We must make inquiries, to obtain any result:

```

1 ?- consult('d:/rain.pl').
% d:/compiled 0.00 sec, 672 bytes

Yes
2 ?- it_rains.
Yes

3 ?- plants_are_watered.
Yes

```

In line 1 we load the program "rain.pl" using the consult procedure. Prolog indicates the compilation time and the compiled bytes. For any query, except for error, Prolog responds "Yes" or "No". Depending on the version of Prolog, the message "Yes" may be replaced by the solution of the query.

In line 3 we ask if it rains. The answer is "Yes." The next question is do\_the\_plants\_water? The answer is "Yes".

Let's imagine that we want to express the following: *If it rains then, the tomatoes and lettuce and strawberries are watered.*

Using propositional logic we would write the following:

```

If it_rains -> the_tomatoes_are_watered ^ the_lettuces_are_watered ^ the_
strawberries_are_watered.

```

To facilitate the representation of knowledge and the association of concepts, the predicates are used.

### **First Order Logic or First Order Predicate Calculation:**

Extends propositional logic using variables, predicates, and variable quantifiers.

We will rewrite the previous rule using the predicate `are_watered(Plants)`. This predicate represents that a certain plant is watered.

```

If it_rains -> are_watered(tomatoes) ^ are_watered(lettuce) ^ are_watered
(strawberries)

```

This new definition using predicates would allow to ask What is watered? and Prolog would answer, tomatoes, lettuce and strawberries.

However, this rule written in this way cannot be implemented directly in Prolog as it is not a *Horn Clause*.

**Horn clauses.** A Horn clause is one that is formed by a conjunction of zero or more terms in the antecedent and a single term in the consequent.

```
If it_rains -> are_watered(tomatoes)
```

$\frac{}{\text{Term}}$

$\frac{}{\text{Term}}$

To solve if a certain query (formula) is true or false, a resolution algorithm is used. This resolution algorithm is decidable (always ends with a valid solution) if the clauses are all Horn Clauses. Otherwise, the resolution algorithm could not be guaranteed to terminate.

In some cases we can find an equivalence for a clause to be written as a Horn clause.

1  $a \wedge b \rightarrow c$  Horn C.

2  $a \rightarrow b \wedge c$  It is not Horn C.  $\Rightarrow$  Equivalence  $\left\{ \begin{array}{l} a \rightarrow b \\ a \rightarrow c \end{array} \right.$

3  $a \vee b \rightarrow c$  It is not Horn C.  $\Rightarrow$  Equivalence  $\left\{ \begin{array}{l} a \rightarrow c \\ b \rightarrow c \end{array} \right.$

4  $a \rightarrow b \vee c$  It is not Horn C.  $\Rightarrow$  There is no equivalence

Our program on rain and irrigation using Horn's clauses would look like this:

```
% Rain, irrigation and vegetables using predicates

are_watered(tomatoes):- it_rains.
are_watered(lettuce):- it_rains.
are_watered(strawberries):- it_rains.
it_rains.
```

We can then ask: What is watered?

*Prolog Syntax:* We will write the variables starting with a capital letter.

```
2 ?- are_watered
   (Vegetable).
   Vegetales = tomatoes;
   Vegetales = lettuce;
   Vegetales = strawberries
```

```
3 ?
```

To get all the answers, we type ";" after each answer.

### **Closed world hypothesis:**

**Everything that is not defined is false.** In order to simplify the definition of the knowledge base, an agreement is reached to answer as false everything that is not defined. If we ask a question about a value that does not exist Prolog will answer "No".

```
3 ?- are_watered(apples).
```

No



# LOGIC PROGRAMMING WITH PROLOG

## **0. Introduction**

## **1. Unification**

## 2. Tipos de datos

### 2.1 Listas

### 2.2 Árboles

### 2.3 Grafos

## 3. Control de la ejecución

## 4. Problemas de estados



## SECTION 0. INTRODUCTION (CONTINUED)

### Variables

We will write the variables starting with a capital letter. It is not necessary to declare a variable in order to use it. **A variable in Prolog can be instantiated with any data type** (tree, list, graph, etc.). **A variable, once instantiated, does not change its value.**

Examples of variables:

- 1) Person
- 2) List
- 3) X
- 4) Tree
- 5) \_

Examples of use:

```
?- X = 1, X = 2.
No

?- Person = peter.
Persona = peter
Yes

?- List = [1,2,3]
List = [1,2,3]

? List = peter.
List = peter
Yes
```

In the last of the previous examples, we observed that Prolog does not do any kind of checking when assigning values to variables. We can assign a variable called "List" (which should contain a list) any value. If the variable List is free (it was not previously assigned a value), it will be possible to perform the following unification List = peter and Prolog will respond that it is true if List is instantiated to the value "peter".

### Free and Instanced Variables

We will say that **a variable is free if a value has not yet been assigned** through a **unification**.

We will say that **a variable is instantiated if it has already been assigned a value** through **unification**. That variable will not be able to modify its value.

```
?- X=1, X=2.
No
```

For readability, **we must assign to the variables names representative of what they contain:** if the variables contain numbers we can call them X, Y, Z, etc.; if the variables contain lists, we will call them List, ListR, etc. This will help us understand the programs more easily.

### Scope of a variable

It is common in other programming languages that if a variable is defined within a function, the variable can be referenced from anywhere in the function. We say that the scope of the variable is the function in which it is defined.

**In Prolog the scope of a variable is restricted to a clause.**

Beyond this clause, the variable cannot be referenced. This is an important difference between Prolog and programming languages..

See the following example:

```
sum(X,Y,Z):- X \= Y, Z is X + Y.
sum(X,X,Z):- Z is X + X.
```

Code 1: First version of the predicate sum

In the previous example the variable X and the variable Z appear in the two clauses, however there is no connection between them. We can change the name of the variables and the program will work in the same way.

This allows that, observing only one clause, we can know if it is correct or not, regardless of what is written below.

```
sum(X,Y,Z):- X \= Y, Z is Y + Z.
sum(N,N,R):- R is N + N.
```

Code 2: Second version of the predicate sum

This second version of the implementation of the sum predicate, works exactly the same as the previous one.

**Anonymous variable (" \_ ")**

When we want to indicate that an argument has a value, but we do not care what that value is, we will use the *anonymous variable*, which is represented by the character "\_".

The *anonymous variable* has a sense of "all" or "any value".

For example: If I want to indicate that when it rains *all the plants* are watered, I can write:

```
are_watered(Plants):- it_rains.
it_rains.
```

When running the above program, Prolog will display the following message:

```
Warning (d:/rains4.pl:1):
Singleton variables: [Plants]
```

This message indicates that a variable appears only once in a clause, which means that there is no restriction on the value that the variable can take and, therefore, it is not necessary to give it a name. This message is only a warning with which the program can be executed, however, we must correct them. If we get used to seeing them, when we really make a mistake when writing the name of a variable, it is very possible that we will not pay any attention to the warning.

This can happen for two reasons:

- 1) Make it correct. I really want to indicate that there is a variable but I will not use its value, in which case we will write:

```
Are_watered(_):- it_rains.
```

- 2) That I have misspelled the name of a variable, in which case I must correct the error:

```
grow(Plamt):- are_watered(Plant).
Are_watered(_):-
it_rains.
it_rains.
```

It will cause the following warning.

```
Warning (d:/rains4.pl:1):
Singleton variables: [Plamt, Plant]
```

## SECTION 1. UNIFICATION

We will say that two terms unify:

- 1) If they do not have variables, they unify if they are identical.
- 2) If they have variables, unify if it is possible to find a substitution of the variables of form that they become identical.

Examples:

```
?- X=1.
```

```
X=1
```

```
Yes
```

```
?- X = woman(maria).
```

```
X = woman(maria)
```

```
Yes
```

```
?- X = 2 + 3.
```

```
X=2+3
```

```
Yes
```

```
?- X=1, X=2, X=Y.
```

```
No
```

```
?- X=2+X.
```

```
X=+**
```

```
Yes
```

```
?- (1+2) = 1+2.
```

```
Yes
```

```
? 1+1 = +(1,1).
```

```
Yes
```

```
? (1+1)+1 = 1+(1+1).
```

```
No
```

### Operators

The most commonly used operators in Prolog are “=”, “==”, “is”, “:=”, “<”, “=<”, “>”.

“=” unify:

The unification operator does not evaluate arithmetic operations. Before unifying a variable to a value we will say that the variable is "free" or "not instantiated". After unifying a value to a variable, the variable is no longer free and we will say that the variable is “instantiated”.

```
?- X = 1+1.
```

```
X = 1+1.
```

```
Yes
```

### **"==" identity comparer:**

It is true if the compared values are *exactly the same value*.

```
?- 2 == X.
```

```
No.
```

```
?- 2 == 2.
```

```
Yes.
```

```
?- 2 == 1+1.
```

```
No.
```

### **"is" arithmetic expression evaluator:**

Evaluate to the right and unify with the left. In order to perform an arithmetic operation, all variables to the right of the operator have to be instantiated. Otherwise an error will occur.

```
?- X is 1+1.
```

```
X = 2
```

### **"=:" arithmetic expression evaluator and comparator:**

Evaluates to the right and left and it is true if the result of the evaluations is identical.

```
?- 2 =: 1+1.
```

```
Yes
```

### **Ejemplos:**

```
?- X is 2 + 3, X = 5.
```

```
X=5
```

```
Yes
```

```
?- X is 2 + 3, X = 2 + 3.
```

```
No
```

```
?- 2 + 3 is X.
```

```
ERROR: is/2: Arguments are not sufficiently instantiate
```

?- X is 5, 6 is X + 1.

X=5

Yes

?- X = 5, 6 = X + 1.

No

?- 6 is X + 1, X = 5.

ERROR: is/2: Arguments are not sufficiently instantiate

### Operators table

Precedence	Notation	Operator
1200	xfx	<code>:-</code>
1000	xfx	<code>,</code>
900	fy	<code>\+</code>
700	xfx	<code>&lt;, =, =.., =@=,</code> <code>:=, =&lt;, ==, =\=,</code> <code>&gt;, &gt;=, @&lt;, @=&lt;, @&gt;,</code> <code>@&lt;, @&gt;=, \=, \==,</code> <code>is</code>
500	yfx	<code>+, -, xor</code>
500	fx	<code>+, -, ?, \</code>
400	yfx	<code>*, /, mod, rem</code>
200	xfx	<code>*</code>
200	xfy	<code>^</code>

- Operations whose operator has a lower precedence number will be performed first.

- yfx: associative on the left. (Example: X is 2/2/2, X = 0.5).

- xfy: right associative. (Example: X is 2 ^ 1 ^ 2, X = 2).

To obtain a complete list of operators execute  
`apropos (operators) .`



# LOGIC PROGRAMMING WITH PROLOG

0. Introducción

1. Unificación

**2. Data Types**

**2.1 Lists**

2.2 Árboles

2.3 Grafos

3. Control de la ejecución

4. Problemas de estados



## SECTION 1. DATA TYPES

Although Prolog is not a typed language, there are certain values with peculiarities of notation and associated predicates that differentiate them from other values, turning them into a kind of data type. In any case, we will need to delimit groups of values that act as differentiated data types in our programs. In this section we will see how to represent and use some important data types with Prolog.

### 2.1 Lists

We will notice the lists in brackets, separating the elements by commas. These are some List features in Prolog:

Lists **contain terms (variables, constants or structures)** in general, so it is not restricted to containing values of one of those types in particular or with a uniform notation (only numbers, only variables, etc.). **It is possible to create list of lists.**

We will notice the **empty list** ("[]") with an opening bracket and a closing bracket.

Lists examples:

```
[1,2,3,4]
[]
[a,b,c,d]
[1,'a',b,x,[1,2,3]]
[[1,2],[3,4],[5,6]]
[are_watered (Plants),[3,4],pedro]
```

**Note:** If we want a variable to be instantiated to a list, we will do it as follows:

```
?- List = [1,2,3,4]
List=[1,2,3,4]
```

Remember that a free variable can be instantiated with any type of data. A common mistake is the following:

```
?- [List] = [1,2,3,4]
No
```

With [List] we refer to a list that contains a single term.

## Operator “|”

We will use the operator “|” (vertical bar), to separate the first element of a list from the rest. This operator is very useful for constructing recursive predicates and we will use it frequently.

Ejemplos:

```
1 ?- [Head|Tail] = [1,2,3]
Cabeza=1
Resto=[2,3]
```

```
2 ?- [Head|Tail] = [1]
Head=1
Tail=[]
```

```
3 ?- [H1,H2|Tail] = [1,2,3]
H1=1
H2=2
Tail=[3]
```

```
4 ?- [_|_] = []
No
```

```
5 ? [Head|Tail] = [[1,2,3]]
Head=[1,2,3]
Tail = []
```

Note: We must bear in mind that the **rest is always a list**. In the second of the examples Previous examples  $[C | R] = [1]$ , unification is possible, the rest being an empty list “[]”,  $R = []$ .

Let's now look at some examples of predicates that work with lists:

We will implement the predicate `num_elem / 2` that counts the number of elements in a list.

We will implement the predicate in several steps:

### Step 1) Base Case.

It is usually the simplest. When dealing with lists, the base case usually refers to the empty list. **The base case must not depend on other rules that refer to the defined predicate.**

```
% num_elem(+List, -Int)
num_elem([],0).
```

**Step 2) We raise the recursive case.**

We construct the recursive case with a **somewhat smaller problem size**. Usually with the rest. Instead of a List variable, we write [Head | Tail], which will separate the first in the list from the tail.

```
num_elem( [Head|Tail],          ):-
num_elem(Tail, Num_tail) ,
```

If the recursive call works, it will return the number of elements of the tail.

Remember the Mathematical induction:

If it is true for  $n_0$  and it is true for  $n-1$  with  $n > n_0$ , then it is true for any  $n > n_0$

Example in Prolog, true(N): - Nminus1 is N-1, true(Nminus1).

**Step 3 ) From the recursive case (partial result), we obtain the total result.** In this case, just add 1 to NumResto, to get the total..

```
num_elem([Head|Tail], NumList ):-
num_elem(Tail, NumTail),
numList is NumTail + 1.
```

**Step 4) Finally, we check that all cases are covered only once.** In this example, we have a case for empty lists and a generic case for a list of 1 or more items. We have considered all possible list sizes.

We will bear in mind that when writing [Head | Tail] we force the list to have at least one element since the rest can be empty but the head must necessarily unify with a term.

The program would be like this:

```
% num_elem(+List, -Int)
num_elem([],0).

num_elem([Head|Tail], NumList ):-
num_elem(Tail, NumTail),
numList is NumTail + 1.
```

## Ejercicios:

Implementar los siguientes predicados utilizando recursividad:

`reverse(+List, -ListR)` que es cierto cuando ListR unifica con una lista que contiene los mismos elementos que List pero en orden inverso.

`aniadir_final(+Elem, +Lista, -ListaR)` que es cierto cuando ListaR unifica con una lista que contiene los mismos elementos que la lista Lista más el elemento Elem añadido al final.

`elemento_enesimo(+Pos, +Lista, -Elem)` que es cierto cuando Elem unifica con el elemento que ocupa la posición Pos dentro de Lista.

## Predicados predefinidos

Existen predicados predefinidos en Prolog para listas que podemos utilizar en nuestros programas. Si hacemos la siguiente consulta `help(length)`. Obtendremos el siguiente resultado:

```
length(?List, ?Int)
```

```
True if Int represents the number of elements of
list List. Can be used to create a list holding
only variables.
```

El comportamiento es similar, a nuestro predicado `num_elem/2` implementado anteriormente.

```
Nota: En la sección 4.1 del manual de SWI-Prolog ( ?- help(4-1).
),
encontramos información sobre la notación utilizada en la descripción de los predicados:
? indica que el argumento puede ser de entrada o de salida.
+ indica que el argumento es usualmente de entrada.
- indica que el argumento es usualmente de salida.
```

Otros predicados predefinidos para listas son:

```
append/3
member/2
reverse/2
nth0/3
nth1/3
```

## Predicados reversibles

Una de las características que diferencia a Prolog de otros lenguajes de programación es la capacidad que tienen los predicados (a diferencia de una función definida en C, por ejemplo), de ser utilizados de forma reversible.

Podemos utilizarlos de forma similar a una función, es decir introduciendo unos valores en las entradas, esperando que las variables de salida, unifiquen con el resultado. Sin embargo, también podemos utilizarlos al revés, es decir, **introduciendo la salida esperando que Prolog encuentre la/s entrada/s** necesarias para hacer cierto el predicado.

Veamos un ejemplo:

```
6 ?- length([1,2,3], Longitud).
Longitud=3

7 ? length(Lista, 3).
Lista = [_G331, _G334, _G337]
```

En el ejemplo 7 hemos utilizado el predicado `length/2` de forma contraria a la habitual. Indicamos cual es la salida, en este caso la longitud de la lista, y esperamos que Prolog encuentre una posible lista de longitud 3. La respuesta de Prolog en `Lista=[_G331, _G334, _G337]`. Es la forma que tiene Prolog de hacer referencia a una lista de tres elementos cualesquiera (`_G331, _G334, _G337` identifican variables).

Esta forma de uso de los predicados no se encuentra en los lenguajes imperativos. **Debemos hacer uso de la reversibilidad de los predicados**, cuando sea posible.

## Ejercicios:

- 1) Comprobar el funcionamiento de los predicados predefinidos en Prolog para listas.
- 2) Comprobar si la implementación del predicado `num_elem/2` vista en este tema es reversible y razone por qué.
- 3 ) Revisar los exámenes de años anteriores y realizar los problemas de listas que se encuentren.

## Bibliografía

Ayuda de SWI-Prolog





# **PROGRAMACIÓN LÓGICA CON PROLOG**

0. Introducción

1. Unificación

**2. Tipos de datos**

**2.1 Listas**

2.2 Árboles

2.3 Grafos

3. Control de la ejecución

4. Problemas de estados



## SECCIÓN 2. TIPOS DE DATOS (CONTINUACIÓN)

### 2.1 Listas (continuación)

Las listas son el tipo de dato más utilizado en Prolog ya que se sirven de ellas otros tipos de datos, como por ejemplo, árboles genéricos y grafos.

Es muy importante que comprendamos bien el funcionamiento de las listas y, sobre todo, cómo deben construirse los predicados recursivos. Si entendemos bien estos conceptos, es posible que lleguemos a ser unos buenos programadores declarativos. En otro caso, es muy posible que necesitemos demasiado tiempo para resolver los problemas y terminemos por pensar que la Programación Declarativa es demasiado compleja y que no merece la pena utilizarla.

El profesor David Enrique Losada Carril de la Universidad Santiago de Compostela en la página web de la asignatura Programación Declarativa da algunas claves para resolver problemas declarativamente: “piensa en especificar el problema y sus restricciones y no en secuenciar instrucciones;”

Recomendaciones importantes para resolver los ejercicios:

- No intentar seguir la ejecución paso a paso de los predicados para hallar la solución.
- Pensar en los predicados como algo estático.

Seguir los siguientes pasos:

**1) Plantear el caso recursivo con el tamaño de la llamada recursiva un poco más pequeño** (n-1, el resto de una lista, etc.);

**2) Entonces plantear: ¿Si la llamada recursiva funciona, qué tengo en la salida “parcial”?** (Utilizar un ejemplo sencillo si es necesario para entender qué contienen las variables de salida de la llamada recursiva).

**3) Una vez aclarado esto, plantear ¿Qué cambios se han de realizar a la salida de la llamada recursiva (“parcial”) para obtener la salida “total”?** (la del caso general n, de la lista completa, etc.).

**4) Por último comprobar que el caso base es correcto y que todos los posibles casos están contemplados.**

Si después de resolver el problema de esta forma, no existiera la seguridad de que funciona... ¡Probarlo en SWI-Prolog!

Veamos los siguientes ejemplos:

1. Invertir una lista
2. Concatenar dos listas
3. Ordenación por burbuja
4. Ordenación por inserción
5. Ordenación por Quicksort
6. Encontrar los primos entre X e Y
7. Permutar los elementos de una lista

## 8. Encontrar el elemento que aparece más veces en una lista

### 1) Invertir una lista

```
%-----
% invertir(+Lista, -ListaR) es cierto cuando ListaR
% unifica con una lista que contiene los mismos
% elementos que Lista en orden inverso.
%-----
invertir([], []).
invertir([Cab|Resto], RT) :-
    invertir(Resto, R),
    append(R, [Cab], RT).
```

### 2) Concatenar dos listas

```
%-----
% concatena(+List1, +List2, -ListR).
% es cierto cuando ListaR unifica con una lista
% que contiene los elementos de la lista List1
% en el mismo orden y seguidos de los elementos
% de la lista List2 en el mismo orden.
%-----
concatena([], L, L).
concatena([Cab|Resto], List2, [Cab|R]) :-
    concatena(Resto, List2, R).
```

### 3) Ordenación por burbuja

```
%-----
% ordena_burbuja(+Lista, -ListaR).
% es cierto cuando ListaR unifica con una lista que
% contiene los mismos elementos que Lista ordenados
% de menor a mayor.
%-----
ordena_burbuja(Lista, Lista) :- ordenada(Lista).
ordena_burbuja(Lista, RT) :-
    append(Ini, [E1, E2|Fin], Lista),
    E1 > E2,
    append(Ini, [E2, E1|Fin], R),
    ordena_burbuja(R, RT).
%-----
% ordenada(+Lista)
% es cierto cuando Lista unifica con una lista
% que contiene sus elementos ordenados de menor a
% mayor.
%-----
ordenada([]).
ordenada([_]).
ordenada([Cab1, Cab2|Resto]) :-
    Cab1 =< Cab2,
    ordenada([Cab2|Resto]).
```

#### 4) Ordenación por inserción

```
%-----
% inserta_en_list_ord(+Elem, +Lista, -ListaR).
%es cierto cuando ListaR unifica con una lista
%que contiene los elementos de la lista ordenada
%Lista, con el elemento Elem insertado de forma
%ordenada.
%-----
inserta_en_list_ord(Elem, [], [Elem]).
inserta_en_list_ord(Elem, [Cab|Resto], [Elem,
Cab|Resto]):-
    Elem =< Cab.
inserta_en_list_ord(Elem, [Cab|Resto], [Cab|R]):-
    Elem > Cab,
    inserta_en_list_ord(Elem, Resto, R).
%-----
% ordena_insercion(+Lista, -ListaR).
%es cierto cuando ListaR unifica con una lista que
%contiene los mismos elementos que Lista ordenados
%de menor a mayor.
%-----
ordena_insercion([], []).
ordena_insercion([Cab|Resto], RT):-
    ordena_insercion(Resto, R),
    inserta_en_list_ord(Cab,R, RT).
```

#### 5) Ordenación por Quicksort

```
%-----
% divide(+Elem, +Lista, -Menores, -Mayores)
%es cierto cuando Menores unifica con una lista que
%contiene los elementos de Lista que son menores
%o iguales que Elem y Mayores unifica con una lista
%que contiene los elementos de Lista que son
%mayores que Elem.
%-----
divide(_, [], [], []).
divide(Elem, [Cab|Resto], Menores, [Cab|Mayores]):-
    Cab > Elem,
    divide(Elem, Resto, Menores, Mayores).
divide(Elem, [Cab|Resto], [Cab|Menores], Mayores):-
    Cab =< Elem,
    divide(Elem, Resto, Menores, Mayores).
%-----
% ordena_quick(+Lista, -ListaR).
%es cierto cuando ListaR unifica con una lista que
```

```
%contiene los mismos elementos que Lista ordenados
%de menor a mayor.
%-----
ordena_quick([], []).
ordena_quick([Cab|Resto], R):-
    divide(Cab, Resto, Men, May),
    ordena_quick(Men, RMen),
    ordena_quick(May, RMay),
    append(RMen, [Cab|RMay], R).
```

## 6) Encontrar los primos entre X e Y

```
%-----
% lista_divisores(+X, +Y, -ListaR).
%es cierto cuando ListaR unifica con una lista
%que contiene a los números cuyo resto
%de la división entera de X entre Z es igual a 0
%para valores de Z entre 1 e Y.
lista_divisores(_, 1, [1]).
lista_divisores(X, Y, [Y|R]):-
    Y > 1,
    Y2 is Y-1,
    lista_divisores(X,Y2, R),
    0 is X mod Y.
lista_divisores(X, Y, R):-
    Y > 1,
    Y2 is Y-1,
    lista_divisores(X,Y2, R),
    Z is X mod Y, Z \== 0.
%-----
% primo(+X)
%es cierto si X unifica con un número primo.
%-----
primo(X):- lista_divisores(X,X,[X,1]).
%-----
% primosEntrexy(+X, +Y, -ListaR)
%es cierto cuando ListaR unifica con una lista
%que contiene a los primos que van desde X hasta
%Y ambos incluidos en orden ascendente.
%-----
primosEntrexy(X,X, []).
primosEntrexy(X,Y, [X|R]):- X<Y,
    X2 is X+1,
    primosEntrexy(X2,Y, R),
    primo(X).
primosEntrexy(X,Y, R):- X<Y,
    X2 is X+1,
    primosEntrexy(X2,Y, R),
    \+ primo(X).
```

## 7) Permutar los elementos de una lista

```

%-----
% selecciona_uno(+Lista, -Elem, -Resto)
%es cierto cuando Elem unifica con cualquier
%elemento de la lista Lista y Resto unifica
%con una lista que contiene los elementos de
%Lista, en el mismo orden menos el elemento
%Elem.
%-----
selecciona_uno([Ca|R], Ca, R).
selecciona_uno([Ca|Co], E, [Ca|R]):-
    selecciona_uno(Co, E, R).
%-----
% permuta(Lista, ListaR).
%es cierto cuando ListaR unifica con una lista
%que contiene los elementos de Lista en orden
%distinto. Este predicado genera todas las
%listas posibles por backtracking.
%-----
permuta([], []).
permuta(L, [E|RP]):-
    selecciona_uno(L, E, R),
    permuta(R, RP).

```

## 8) Encontrar el elemento que aparece más veces en una lista

```

%-----
% mas_veces(+Lista, -Elem, -Num)
%es cierto cuando Elem unifica con el elemento
%que se repite más veces en la lista Lista
%y Num unifica con el número de veces que se
%repite dicho elemento.
%-----
mas_veces([],_,0).
mas_veces([Ca|Co], Ca, N2):-
    mas_veces(Co,El,N),
    Ca=El,
    N2 is N+1.
mas_veces([Ca|Co], El, N):-
    mas_veces(Co,El,N),
    Ca\=El.

```





# PROGRAMACIÓN LÓGICA CON PROLOG

0. Introducción

1. Unificación

**2. Tipos de datos**

2.1 Listas

**2.2 Árboles**

2.3 Grafos

3. Control de la ejecución

4. Problemas de estados



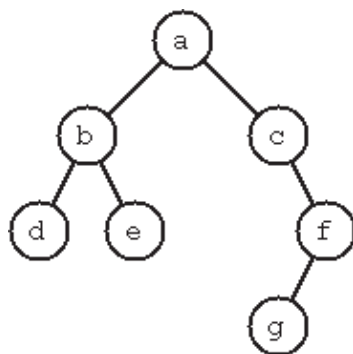
## SECCIÓN 2. TIPOS DE DATOS (CONTINUACIÓN)

### 2.2 Árboles

#### Árboles binarios

Un árbol binario es

- Árbol nulo, o bien,
- Una estructura compuesta por un elemento y dos sucesores que son árboles binarios.



En Prolog representaremos un árbol nulo con el átomo 'nil' y el árbol no vacío con el término `a(Et, HI, HD)`, donde "Et" representa la etiqueta de la raíz y HI y HD son los subárboles Izquierdo y derecho respectivamente.

`A1=a(a,a(b,a(d,nil,nil),a(e,nil,nil)),a(c,nil,a(f,a(g,nil,nil),nil)))`

Otros ejemplos son un árbol que sólo contiene un nodo

`A2 = a(a,nil,nil)` o el árbol vacío `A3 = nil`

Veamos un ejemplo con el predicado `cuenta_nodos` para árboles binarios.

```

/* cuenta_nodos(+Arbol_binario, ?Num_nodos)

es cierto cuando Num_nodos unifica con el
numero de nodos del árbol "Arbol_binario" */

cuenta_nodos(nil, 0).

cuenta_nodos(a(_, HI, HD), R):-
    cuenta_nodos(HI, RI),
    cuenta_nodos(HD, RD),
    R is RI + RD + 1.

dato(a(a,a(b,a(d,nil,nil),a(e,nil,nil)),a(c,nil,a(f,a(
g,nil,nil),nil))))).

/* 1 ?- dato(A), cuenta_nodos(A, N).
A = a(a, a(b, a(d, nil, nil), a(e, nil, nil)), a(c,
nil, a(f, a(g, nil, nil), nil)))

```

Otro ejemplo es el predicado `lista_hojas` para árboles binarios

```

/* lista_hojas(+Arbol_binario, ?Lista_hojas)

es cierto cuando Lista_hojas unifica con una lista que con-
tiene las etiquetas de las hojas del árbol "Arbol_binario"
*/

lista_hojas(nil, []).

lista_hojas(a(_, nil, HD), LD):-
HD \= nil,
lista_hojas(HD, LD).  lista_hojas(a(_, HI, nil), LI):-
HI \= nil,
lista_hojas(HI, LI).
lista_hojas(a(_, HI, HD), LR):-
HI \= nil, HD \= nil,
lista_hojas(HI, LI),
lista_hojas(HD, LD),
append(LI, LD, LR).  lista_hojas(a(Et, nil, nil), [Et]).

dato(a(a(a(b,a(d,nil,nil)),a(e,nil,nil)),a(c,nil,a(f,a(g,ni
l,nil),nil))))).

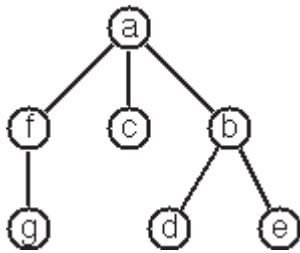
/* 1 ?- dato(A), lista_hojas(A, R).

A = a(a, a(b, a(d, nil, nil), a(e, nil, nil)), a(c, nil,
a(f, a(g, nil, nil), nil)))
R = [d, e, g] */

```

## Árboles genéricos

Un árbol genérico está compuesto por una raíz y por una lista de sucesores que son a su vez árboles genéricos. Aunque podríamos establecer una representación en nuestra aproximación, para simplificar consideraremos que un árbol genérico no estará nunca vacío, es decir, no tendremos un equivalente al árbol nulo de los árboles binarios.



En Prolog representaremos un árbol genérico por el término `a(Et, ListaHijos)`, donde `Et` es la etiqueta de la raíz y `ListaHijos` es una lista con los árboles descendientes. El árbol del ejemplo lo representaremos con el siguiente término Prolog.

```
A = a(a,[a(f,[a(g,[])]),a(c,[]),a(b,[a(d,[]),a(e,[])])])
```

### Metodología para la implementación de árboles genéricos

Con la idea de simplificar la implementación de los predicados de árboles genéricos, escribiremos unas cláusulas que unifiquen con una estructura de árbol y otra/s cláusula/s que unifiquen con listas de árboles.

En el caso de las cláusulas para listas de árboles, seguiremos el mismo principio utilizado en las listas.

- Un caso base, que será por lo general, lista vacía.
- Un caso recursivo, que separa el primero del resto, realiza la llamada recursiva sobre el resto de la lista (en este caso de árboles) y, a partir del resultado, construye la solución.

Implementaremos el predicado `cuenta_nodos` para árboles genéricos como ejemplo:

```

/* cuenta_nodos(+Arbol_generico, ?Num_nodos)

es cierto cuando Num_nodos unifica con el
numero de nodos del árbol "Arbol_generico" */

%cláusula para un árbol genérico
cuenta_nodos(a(_, Lista_hijos), R):-
cuenta_nodos(Lista_hijos, N),
R is N + 1.

% cláusulas para lista de árboles
cuenta_nodos([], 0).
cuenta_nodos([Cab|Resto], R):-
cuenta_nodos(Cab, NCab),
cuenta_nodos(Resto, NResto),
R is Ncab + Nresto.

dato(a(a, [a(f, [a(g, [])]), a(c, []), a(b, [a(d, []), a(e, [])])])).

/* dato(A), cuenta_nodos(A,N).
A = a(a, [a(f, [a(g, [])]), a(c, []), a(b, [a(d, []), a(e, [])])])
N = 7 */

```

Otro ejemplo, lo encontramos en el predicado profundidad para árboles genéricos:

```

/*
profundidad_ag(+Arbol_generico, ?P)
    es cierto cuando P unifica con la profundidad del
    árbol genérico "Arbol_genérico"

*/

profundidad_ag(a(_, Lista_hijos), R):-
    profundidad_ag(Lista_hijos, PH),
    R is PH+1.

profundidad_ag([], 0).

profundidad_ag([Cab|Resto], PCab):-
    profundidad_ag(Cab, PCab),
    profundidad_ag(Resto, PResto),
    PCab >= PResto.

profundidad_ag([Cab|Resto], PResto):-
    profundidad_ag(Cab, PCab),
    profundidad_ag(Resto, PResto),
    PCab < PResto.

dato(a(a,[a(f,[a(g,[[]])]),a(c,[[]]),a(b,[a(d,[[]]),a(e,[[]])])]))).

/*
dato(A), profundidad_ag(A,N).

A = a(a,[a(f,[a(g,[[]])]),a(c,[[]]),a(b,[a(d,[[]]),a(e,[[]])])])
N = 3

```

### Ejercicio:

Plantear cómo se podría extender la representación de árboles genéricos propuesta para representar árboles genéricos nulos.





# PROGRAMACIÓN LÓGICA CON PROLOG

0. Introducción

1. Unificación

2. Tipos de datos

2.1 Listas

2.2 Árboles

**2.3 Grafos**

**3. Control de la ejecución**

**4. Problemas de estados**



## SECCIÓN 2. TIPOS DE DATOS (CONTINUACIÓN)

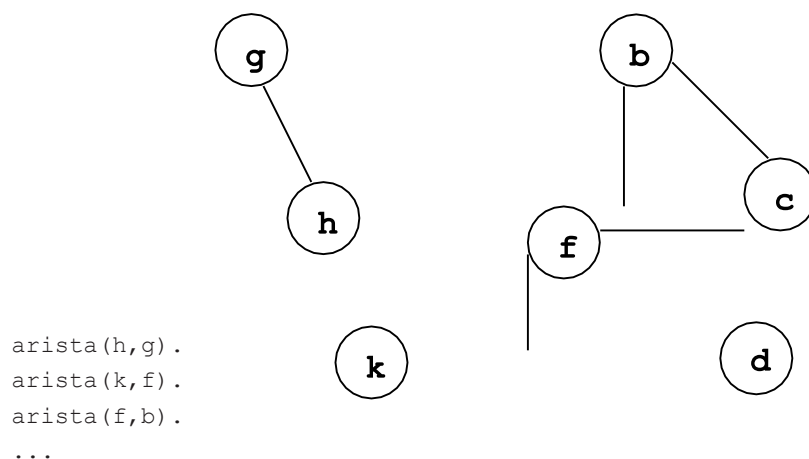
### 2.3 Grafos

Referencia: Ninety-Nine Prolog Problems:

<https://prof.ti.bfh.ch/hew1/informatik3/prolog/p-99>

Un **grafo** se define como un conjunto de nodos y un conjunto de aristas, donde cada arista une a dos nodos.

Existen diferentes modos de representar un grafo en Prolog. Uno de estos métodos consiste en representar cada arco con una cláusula (hecho) independiente. Para representar el siguiente grafo con este método escribiremos:



Podemos denominar a esta representación “*Representación Cláusula-arista*”. Con este método no podemos representar los nodos aislados (en el ejemplo anterior el nodo “d”). Esta representación puede hacer la implementación del camino algo más sencilla, sin embargo complica bastante tareas como recorrer todas las aristas o visitar todos los nodos.

Otro método consiste en representar todo el grafo en un único objeto. Siguiendo la definición dada anteriormente de un grafo como un par de dos conjuntos (aristas y nodos), podemos utilizar el siguiente término en Prolog para representar nuestro grafo ejemplo:

```

    grafo([b,c,d,f,g,h,k],[arista(b,c), arista(b,f), arista(c,f), arista(f,k),
    arista(g,h)])
  
```

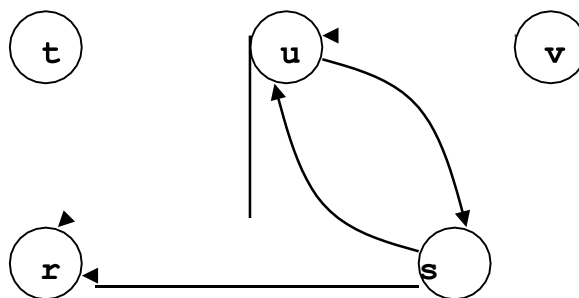
o de una forma más compacta

```

    grafo([b,c,d,f,g,h,k],[a(b,c), a(b,f), a(c,f), a(f,k), a(g,h)])
  
```

Denominaremos a esta representación “*Representación Término-Grafo*”. Tendremos en cuenta que el conjunto se representa con una lista sin elementos repetidos. Cada arista aparece sólo una vez en la lista de aristas; por ejemplo, una arista desde el nodo  $x$  al nodo  $y$  se representa como  $a(x,y)$  y el término  $a(y,x)$  no aparece en la lista. La *Representación Término-Grafo* es la representación que utilizaremos por defecto.

En SWI Prolog existen predicados predefinidos para trabajar con conjuntos. Ejecute `help(11-1)` en SWI Prolog para obtener información sobre la sección “Set Manipulation”.



Pueden consultarse otras representaciones en “Ninety-Nine Prolog Problems”

<https://prof.ti.bfh.ch/hew1/informatik3/prolog/p-99/>

Las aristas pueden ser dirigidas, cuando sólo enlazan a los nodos implicados en sentido origen -> destino y no en el contrario; o no dirigidas cuando enlazan a los nodos en ambos sentidos.

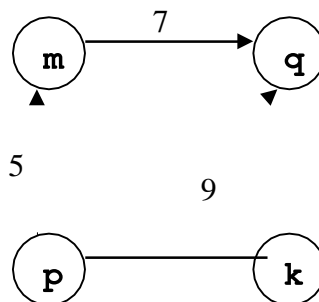
Cuando las aristas están dirigidas llamaremos al grafo Grafo dirigido.

Dependiendo del problema a resolver necesitaremos usar un tipo de grafo u otro.

Los nodos y las aristas de los grafos dirigidos y no dirigidos pueden incorporar información adicional. Es posible sustituir el nombre del nodo por una estructura que contenga, por ejemplo el nombre de la ciudad y el código postal ciudad(‘Huelva’,27002). Por otro lado, es posible también añadir información a las aristas, como por ejemplo el coste de recorrerlas.

Denominaremos a los grafos que añaden información adicional a vértices o aristas “Grafos etiquetados”.

Ejemplo:



Representación Cláusula-Arista

```
arista(m, q, 7).
```

```
arista(p, q, 9).
```

```
arista(p, m, 5).
```

Representación Término-Grafo

```
grafo([k, m, p, q], [arista(m, p, 7), arista(p, m, 5), arista(p, q, 9)])
```

### Construcción de un camino en grafos

Gran cantidad de los problemas de grafos se resuelven construyendo un camino que una dos nodos del grafo.

Los predicados que encuentran un camino en un grafo son recursivos.

El predicado camino tendrá la siguiente cabecera

```
camino(+Inicio, +Fin, +Grafo, +Visitados, ?Camino, <?Peso_total>, <?Camino2>)
```

**Inicio:** Representa al nodo inicial del camino

**Fin:** Representa al nodo final del camino

**Grafo:** Grafo en el que buscamos el camino

**Visitados:** Lista de nodos o de aristas (dependerá del caso), que se utiliza para evitar que el predicado se quede iterando en un ciclo.

**Camino:** Lista de nodos o de aristas (dependiendo del caso) que representa el camino.

Los campos anteriores son necesarios en la mayoría de los problemas de grafos.

**<Peso\_total>** : En ocasiones es necesario indicar cual es el peso total del camino.

**<Camino2>** : En ocasiones es necesario indicar tanto la lista de nodos visitados como la lista de aristas visitados. Ejemplo carreteras visitadas, ciudades visitadas y kilómetros recorridos.

### Caso base:

Primera posibilidad y más habitual.

```
camino(Fin, Fin, _, []).
```

Hemos indicado antes que la lista de visitados tiene como única función evitar que el predicado caiga en un bucle infinito. En el caso base, al no tener llamada recursiva, la lista de Visitados es irrelevante. Podemos hacer el siguiente razonamiento: **Si ya estoy en el final del camino he terminado, independientemente de los puntos por los que haya pasado.**

La variable de salida **Camino**, en este caso será una lista vacía o bien una lista con el nodo Fin si lo que deseamos devolver es la lista de nodos que he visitado.

Caso base alternativo:

```
camino(Inicio, Fin, _, [arista(Inicio, Fin)]):-
    arista(Inicio, Fin).
```

Lo utilizaremos sólo cuando sea imprescindible. Por lo general el caso base anterior funciona bien y es más sencillo. Un tipo de problemas en el que utilizaremos este caso base alternativo es el de la obtención de los ciclos de un grafo.

**Caso recursivo:**

Para construir el caso recursivo buscaremos avanzar a algún vértice TMP y a partir de ese punto buscaremos un camino hasta el final.

```
Inicio ----> TMP -----> Fin

camino(Inicio, Fin, grafo(Vertices, Aristas),
Visitados, [arista(Inicio,TMP)|Camino]):-
    conectado(Inicio, TMP, Aristas),
    \+ visitado(Inicio, Fin, Visitados),
    camino(TMP, Fin, [arista(Inicio, TMP)|Visitados],
Camino).
```

Dependiendo del tipo de grafo y del objetivo perseguido, los predicados conectado y visitado podemos implementarlos de forma distinta.

Predicado conectado en grafos no dirigidos:

```
% conectado(+Inicio, +Fin, +Aristas)
conectado(Inicio, Fin, Aristas):- member(arista(Inicio, Fin), Aristas).

conectado(Inicio, Fin, Aristas):- member(arista(Fin, Inicio), Aristas).
```

En este predicado el corte “!” (que veremos con detalle en la sección 3) tiene como finalidad evitar que Prolog intente buscar una solución por un camino que sabemos no devolverá ninguna solución válida.

Predicado conectado en grafos dirigidos:

```
% conectado(+Inicio, +Fin, +Aristas)
conectado(Inicio, Fin, Aristas):- member(arista(Inicio, Fin), Aristas).
```

Predicado visitado en grafos no dirigidos:

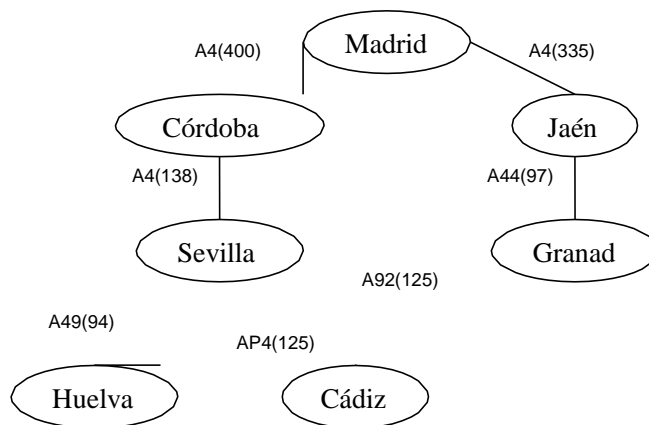
```
% visitado(+Inicio, +Fin, +Visitados)
visitado(Inicio, Fin, Aristas):- member(arista(Inicio, Fin), Visitados).

visitado(Inicio, Fin, Aristas):- member(arista(Fin, Inicio), Visitados).
```

Predicado visitado en grafos dirigidos:

```
% visitado(+Inicio, +Fin, +Visitados)
visitado(Inicio, Fin, Aristas):- member(arista(Inicio, Fin), Visitados).
```

Ejemplos:



En este caso, se trata de un grafo no dirigido.

```
dato(grafo([madrid, cordoba, sevilla, jaen, granada,
huelva, cadiz],
    [arista(huelva, sevilla, a49, 94),
    arista(sevilla, cadiz, ap4, 125),
    arista(sevilla, granada, a92, 256),
    arista(granada, jaen, a44, 97),
    arista(sevilla, cordoba, a4, 138),
    arista(jaen, madrid, a4, 335),
    arista(cordoba, madrid, a4, 400)]
)).
```

```
% conectado(+Inicio, +Fin, +Aristas, -Carretera, -Kilometros)
conectado(Inicio, Fin, Aristas, C, K):-
    member(arista(Inicio, Fin, C, K), Aristas).
```

```

conectado(Inicio, Fin, Aristas, C, K):-member(arista(Fin, Inicio,C,K), Aris-
tas).

% visitado(+Inicio, +Fin, +Visitados)
visitado(Inicio, Fin, Visitados):-member(arista(Inicio, Fin,_,_), Visita-
dos).
visitado(Inicio, Fin, Visitados):- member(arista(Fin,Inicio,_,_), Visita-
dos).

%camino(Inicio, Fin, Grafo, Visitados, Ciudades,Carreteras, Kilometros)
camino(Fin, Fin, _, _, [Fin], [], 0).

camino(Inicio, Fin, G, Visitados, [Inicio|Ciudades],[Carretera|Carreteras],
K2):-
    G = grafo(_, Aristas),
    conectado(Inicio, TMP, Aristas, Carretera, K),
    \+ visitado(Inicio, TMP, Visitados),
    camino(TMP, Fin, G, [arista(Inicio,TMP,_,_)|Visitados], Ciudades, Carrete-
ras, Kilometros),
    K2 is Kilometros + K.

% dato(G), camino(huelva, madrid, G,[],C,Ca,K).

```

Ejecutaremos el objetivo camino para encontrar las soluciones. En este caso queremos encontrar las alternativas para llegar desde Huelva a Córdoba. La primera opción pasa por Granada y Madrid recorriendo 1182 kilómetros y la segunda tiene una longitud de 232 kilómetros.

```

1 ?- dato(G), camino(huelva, cordoba, G, [], Ca,C,K).
G = grafo([madrid, cordoba, sevilla, jaen, granada,
huelva, cadiz], [arista(huelva, sevilla, a49, 94),
arista(sevilla, cadiz, ap4, 125), arista(sevilla,
granada, a92, 256), arista(granada, jaen, a44, 97),
arista(sevilla, cordoba, a4, 138), arista(jaen, madrid,
a4, 335), arista(cordoba, madrid, a4, 400)]),
Ca = [huelva, sevilla, granada, jaen, madrid, cordoba],
C = [a49, a92, a44, a4, a4],
K = 1182 ;
G = grafo([madrid, cordoba, sevilla, jaen, granada,
huelva, cadiz], [arista(huelva, sevilla, a49, 94),
arista(sevilla, cadiz, ap4, 125), arista(sevilla,
granada, a92, 256), arista(granada, jaen, a44, 97),
arista(sevilla, cordoba, a4, 138), arista(jaen, madrid,
a4, 335), arista(cordoba, madrid, a4, 400)]),
Ca = [huelva, sevilla, cordoba],
C = [a49, a4],
K = 232 ;
false.

```



# PROGRAMACIÓN LÓGICA CON PROLOG

0. Introducción

1. Unificación

2. Tipos de datos

2.1 Listas

2.2 Árboles

2.3 Grafos

**3. Control de la ejecución**

4. Problemas de estados



## SECCIÓN 2. CONTROL DE LA EJECUCIÓN

### El *corte*

Notaremos el corte con un cierre de admiración “!”. Dada la siguiente cláusula que contiene el corte:

**H:- B1, B2, ..., Bm, !, Bm+1, ..., Bn.**

Consideremos que fue invocada por un objetivo **G** que unifica con **H**.

#### Primer efecto del corte:

En el momento en el que se alcanza el corte, el sistema ya ha encontrado soluciones para los términos B1,B2,...,Bm. **Las soluciones encontradas para B1,B2,..Bm se mantienen pero cualquier otra alternativa para estos objetivos es descartada.** Para el resto de los objetivos Bm+1,...,Bn, sí se aplicarán las técnicas de *backtraking* habituales.

#### Segundo efecto del corte:

**Cualquier intento de satisfacer el objetivo G con otra cláusula es descartada.**

Existen dos modos de uso del corte. Lo que algunos autores llaman cortes verdes y cortes rojos.

Los *cortes verdes*, son aquellos que **no modifican las soluciones del programa**. Es decir, que con corte y sin corte el programa produce las mismas soluciones. Se utiliza para mejorar la eficiencia de ejecución.

Los *cortes rojos* son aquellos que **modifican las soluciones del programa** (al quitar el corte las soluciones son distintas). Este tipo de cortes hacen los programas menos declarativos y deben utilizarse con reservas. En programación declarativa no importa el orden en que se escriban las cláusulas, las soluciones deben ser las mismas. Sin embargo el uso de cortes rojos impide que las cláusulas se puedan cambiar de orden.

Ejemplo:

```
1. cuenta_hojas(nil,0).
2. cuenta_hojas(a(_,nil,nil), 1):- !.
3. cuenta_hojas(a(_,HI,HD), R):-
    cuenta_hojas(HI, RI),
    cuenta_hojas(HD, RD),
    R is RI+RD.
```

En este ejemplo, si eliminamos el corte, para la consulta `cuenta_hojas(a(1,nil,nil), R)`, el predicado daría dos soluciones una correcta ( $R=1$ ) y otra incorrecta ( $R=0$ ).

Otra versión del mismo problema con cortes “verdes”:

```

1. cuenta_hojas(nil,0).
2. cuenta_hojas(a(_,nil,nil), 1):- !.

3.cuenta_hojas(a(_,HI,HD), _):-
  HI \= nil, HD \= nil, !,
  cuenta_hojas(HI, RI).
  cuenta_hojas(HD, RD),
  R is RI + RD.

4.cuenta_hojas(a(_, nil, HD), RD):-
  HD \= nil, !,
  cuenta_hojas(HD, RD).

5. cuenta_hojas(a(_, HI, nil), RI):-
  HD \= nil,
  cuenta_hojas(HI, RI).

```

En este otro ejemplo, al eliminar los cortes el programa obtiene las mismas soluciones. En este caso, el corte evita que se realicen algunas comprobaciones. Por ejemplo, si llegamos al corte de la cláusula 2, no tiene sentido buscar una solución en las cláusulas que aparecen a continuación.

### Árbol de resolución

También conocido como árbol de deducción, representa el modo en el que Prolog resuelve una determinada consulta.

### Algoritmo de resolución.

Repetir mientras queden términos:

- 1) **Buscamos** en la base de conocimiento de arriba abajo **unificaciones del término objetivo en las cabezas de las reglas y en los hechos.**

a) Abrimos **tantas ramas de ejecución como unificaciones** y empezamos a resolver por la que está más a la izquierda.

b) Si no **hubiese ninguna unificación, se produce un fallo y se explora la siguiente rama inmediatamente a la derecha** en el mismo nivel. Si no existiesen ramas al mismo nivel, pasaríamos al nivel superior empezando por la rama que esté más a la izquierda.

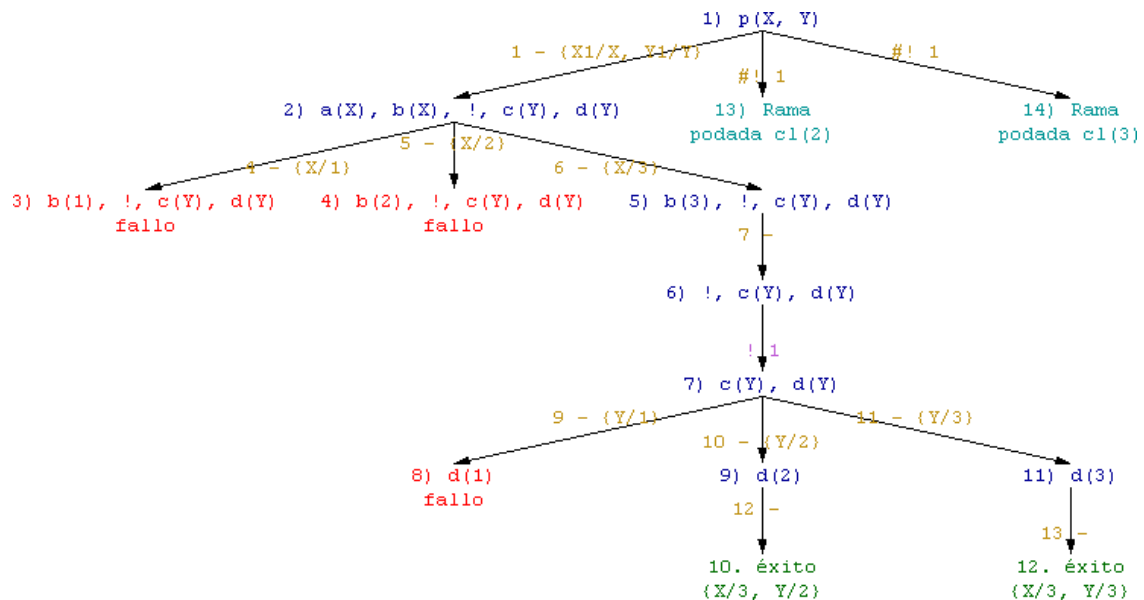
- 2) En la rama actual, **sustituimos la cabeza por el cuerpo de la regla** **instanciando las variables**. Fijamos como término objetivo actual el que está más a la izquierda y volvemos al paso 1.

Ejemplo:

```

1. p(X,Y):- a(X), b(X), !, c(Y), d(Y).
2. p(1,Y):- c(Y).
3. p(X,2):- c(X).
4. a(1).
5. a(2).
6. a(3).
7. b(3).
8. b(4).
9. c(1).
10. c(2).
11. c(3).
12. d(2).
13. d(3).

```



### Pasos para la creación de los árboles de resolución

- 1) Numeraremos las cláusulas del programa de arriba abajo en orden ascendente.
- 2) Escribiremos el objetivo propuesto y **buscaremos unificaciones del objetivo en las cabezas de las reglas y en los hechos.**
- 3) **Dibujaremos tantas ramas como unificaciones haya y etiquetaremos cada rama con el número de la cláusula.** Si no existiese ninguna unificación anotaremos un fallo para el objetivo.
- 4) **Empezaremos resolviendo por la rama que está más a la izquierda.**
- 5) Anotaremos la sustitución de variables en la rama y **sustituiremos la cabeza por el cuerpo de la regla**, sin olvidar los términos anteriores si los hubiese.
- 6) **Resolveremos los términos de izquierda a derecha.** Recuerde que para que el consecuente sea cierto deben ser ciertos todos los términos del antecedente. Si uno de los términos fuese false, no seguiremos comprobando el resto de términos.
- 7) **Cuando un término se hace cierto, lo eliminamos y seguimos resolviendo el resto de izquierda a derecha.**
- 8) **Cuando hagamos todos los términos, marcaremos esa rama con “éxito” y anotaremos los valores de las soluciones** para las variables del objetivo.

### Tratamiento del corte en los árboles de resolución

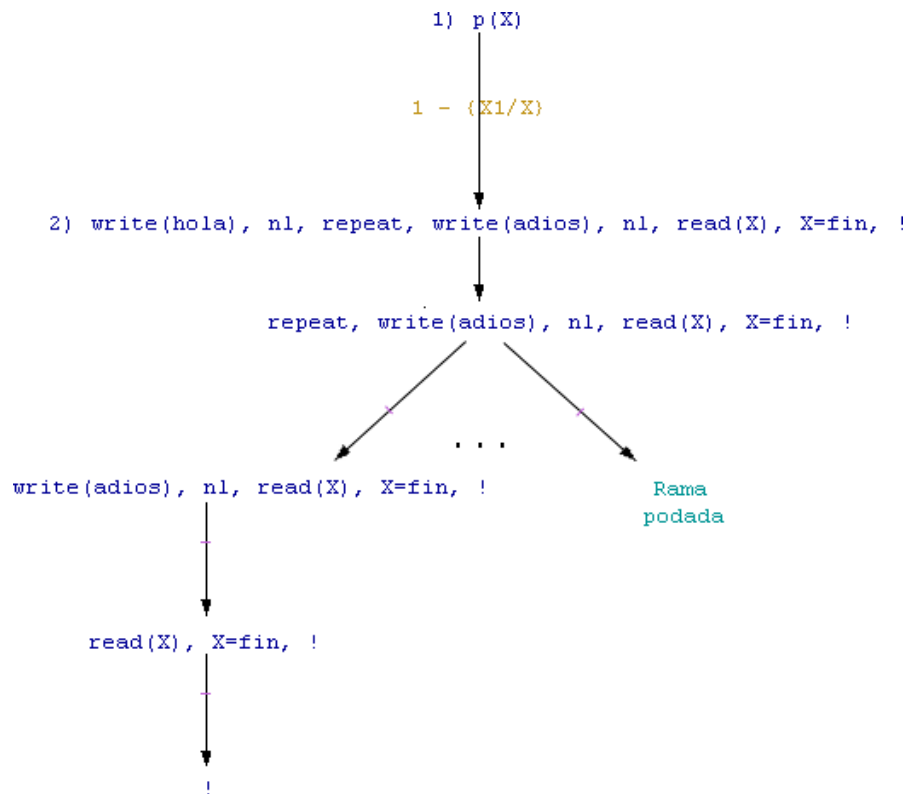
Cuando alcancemos un corte en un árbol de resolución, seguiremos los siguientes pasos:

- 1) **Identificaremos la cláusula que contiene al corte** y los elementos H, G, los términos que están antes del corte **B1, B2,..., Bm** y los que están después **Bm+1, ..., Bn**. Tal y como indica la definición del corte **H:- B1, B2,...,Bm,!, Bm+1, ..., Bn**.
- 2) **Comprobaremos si existen términos antes del corte.** Si existen tendremos que aplicar el primer efecto del corte, marcando con ‘**Rama podada**’ las ramas correspondientes a las alternativas para los términos que están antes del corte.
- 3) **Identificaremos al objetivo que intentábamos satisfacer (G) que unificó con la cabeza (H) de la regla que contiene al corte y, aplicando el segundo efecto, marcaremos como ‘Rama podada’ las ramas correspondientes al intento de satisfacer el objetivo G con otras cláusulas.**

### Término “repeat”

El término repeat, tiene un efecto similar a un término que tuviese infinitas unificaciones. Veamos un ejemplo:

```
1. p(X):- write('hola'), repeat, write('adios'), read(X), X='fin', !.
```



Este ejemplo muestra una vez `hola`, escribe `adios` y lee un término por teclado. Si el término es igual a `fin`, se alcanza el corte y se eliminan todas las ramas del `repeat` y el programa termina. Si no se introduce `fin`, el programa no termina.

### Elemento ‘fail’

Cuando se alcanza el término fail en una cláusula, ésta se hace falsa.

Ejemplo para probar:

```
1. q([C|R],0):-s(C),q(R,1).
2. q([C,next(a)],1):-!,r([C]).
3. q([C,[N]],1):-r([C]),!,N is 2+3.
4. r(1).
5. r([[]]).
6. r([next(a)]).
7. s(R):-!,t(R).
8. s(1):-q([],1).
9. t(1):-fail.
```

### SLD-Draw

Puede utilizarse la herramienta SLD-Draw (<http://www.lcc.uma.es/~pacog/sldDraw/>) para dibujar los árboles de resolución que no contengan ‘repeat’. Si existen dudas de si un árbol de resolución es correcto, la mejor opción es implementarlo, introducirlo en Prolog y solicitar todas las soluciones utilizando “;”. Prolog nos dará en todos los casos todas las soluciones válidas. SLD-Draw en algunas ocasiones no produce todas las soluciones válidas.



# PROGRAMACIÓN LÓGICA CON PROLOG

0. Introducción

1. Unificación

2. Tipos de datos

2.1 Listas

2.2 Árboles

2.3 Grafos

3. Control de la ejecución

**4. Problemas de estados**



### SECCIÓN 3. PROBLEMAS DE ESTADOS

Un método para resolver problemas haciendo uso de la programación lógica consiste en trazar un camino que transcurre por diferentes situaciones (estados) hasta llegar a una solución.

Una transición de un estado a otro se produce realizando un movimiento. De esta forma, la clave para resolver un problema con esta metodología consistirá en definir un estado y unos movimientos; y en base a estos dos elementos se construirá un camino que parte de un estado inicial y tras una secuencia de movimientos alcanza un estado final.

Construiremos la solución en cuatro pasos:

- 1) Definición de un estado genérico y de los estados inicial y final.**
- 2) Implementación de los movimientos.**
- 3) Implementación del camino.**
- 4) Implementación del predicado solución.**

Explicaremos la resolución de problemas de estados utilizando el ejemplo de los caníbales y los misioneros.

#### Caníbales y misioneros

Enunciado del problema:

- Hay tres misioneros y tres caníbales en la orilla izquierda de un río
- Tanto los misioneros como los caníbales, desean cruzar a la orilla derecha de río.
- Para cruzar, disponen de una barca que puede transportar sólo a dos personas a la vez.
- El número de caníbales en cada orilla nunca debe ser mayor al número de misioneros, en otro caso los misioneros se convertirían en la cena de los caníbales.
- Planee una secuencia de movimientos para cruzar a los misioneros y los caníbales de forma que al final estén todos sanos y salvos en la orilla de la derecha.

Representaremos el problema como un conjunto de:

- Estados: que representan una instantánea del problema.
- Movimientos: que transforman un estado en otro.

Encontramos una relación entre los problemas de estados y los grafos asociando nodos con estados y aristas con movimientos. Si recordamos la forma de construir un camino en los grafos, la secuencia de movimientos de un problema de estados tendrán básicamente la misma estructura.

#### 1) Definición de un estado genérico y de los estados inicial y final.

- Un estado representa un instante del problema.
- Utilizando la información del término **estado( ... )** debemos ser capaces de representar el problema sin perder información relevante evitando duplicar información.
- El estado no incluir en el estado información de las acciones.

Volviendo ahora al problema de los caníbales y los misioneros, la información que necesitamos para representar el problema es:

- El número de misioneros en la orilla de la izquierda
- El número de caníbales en la orilla de la izquierda
- El lugar en el que se encuentra la barca.

Toda la información necesaria para resolver el problema, podemos obtenerla a partir de estos tres datos. En Prolog, podemos representar este estado con un término de 3 argumentos.

```
estado(Canibales_izq, Misioneros_izq, Pos_barca)
```

Utilizando esta representación, definiremos los estados inicial y final:

```
inicial(estado(3,3,izq)).
final(estado(0,0,dch)).
```

## 2) Implementación de los movimientos.

El siguiente paso consiste en definir los movimientos posibles. En el caso del problema de los caníbales y los misioneros tendríamos los siguientes movimientos:

- Pasar un misionero a la izquierda o a la derecha.
- Pasar un caníbal a la izquierda o a la derecha.
- Pasar dos caníbales a la izquierda o a la derecha.
- Pasar dos misioneros a la izquierda o a la derecha.
- Pasar un misionero y un caníbal a la izquierda o a la derecha.

El predicado mover, escrito ‘mov’, tendrá por lo general, la siguiente cabecera:

```
/*mov(?Movimiento,?Estado_anterior,?Estado_posterior)es cierto cuando Movimiento unifica con un Movimiento válido, Estado_anterior unifica con un estado válido y Estado_posterior unifica con el estado resultante de aplicar el movimiento "Movimiento" al estado "Estado_anterior" */
```

Es posible que para algún tipo de problema sea necesario incluir algún argumento más. Por ejemplo, si quisiéramos calcular cuanto tiempo es necesario para llegar a la solución, podemos asociar un coste en tiempo a cada movimiento.

Para poder implementar los movimientos, es necesario pensar en las condiciones necesarias antes de realizar el movimiento, es decir como debe ser el estado anterior al movimiento. Por ejemplo, para poder pasar un misionero a la izquierda es necesario que exista al menos un misionero a la izquierda y que la barca esté a la derecha.

```
mov(pasar_un_mis_izq, estado(MI, CI, dch), estado(MI2, CI)):-
    MI < 3, MI2 is MI + 1.
```

No estamos comprobando si el estado nuevo es un estado válido. Cuando tenemos muchos movimientos (en este caso hay 10 movimientos) interesa no incluir en los movimientos las comprobaciones de si el estado nuevo es válido ya que repetiríamos en cada movimiento la misma comprobación. Es mejor incluir un predicado `valido(Estado)` que será cierto, cuando Estado sea un estado válido.

Otra forma de escribir los movimientos es hacerlos más genéricos para evitar escribir varios movimientos muy parecidos. Sin embargo, esta simplificación no siempre es fácil de encontrar. A continuación se propone una simplificación para los movimientos que los reduce sólo a dos cláusulas más un conjunto de 10 hechos. Utilizaremos un predicado `pasar` que representaremos mediante 10 hechos.

`pasar(?Num_misioneros, ?Num_canibales, ?Lugar)` será cierto cuando `Num_misioneros` y `Num_canibales` unifica con una combinación de misioneros y caníbales válida según la especificación del problema y cuando `lugar` unifica con 'izq' o 'dch'.

```
pasar(1,0,izq).
pasar(1,0,dch).
pasar(0,1,izq).
pasar(0,1,dch).
pasar(2,0,izq).
pasar(2,0,dch).
pasar(0,2,izq).
pasar(0,2,dch).
pasar(1,1,izq).
pasar(1,1,dch).
```

Los movimientos quedarían de la siguiente forma

```
mov(pasar(M, C, izq), estado(MI, CI, dch), estado(MD, CD, izq)):-
    pasar(M, C, izq),
    NT is M + C, NT <= 2, NT >= 1,
    M <= MI, C <= CI,
    MD is MI + M, CD is CI + C.

mov(pasar(M, C, dch), estado(MI, CI, izq), estado(MD, CD, dch)):-
    pasar(M, C, dch),
    NT is M + C, NT <= 2, NT >= 1,
    M <= MI, C <= CI,
    MD is MI - M, CD is CI - C.
```

### 3) Implementación del camino.

La solución a este tipo de problemas viene dada por una secuencia de movimientos que, partiendo de un estado inicial, hace que el problema evolucione hasta el estado final deseado.

La implementación de este camino es básicamente la misma que utilizamos en el recorrido de los grafos, utilizando estados en lugar de nodos y movimientos en lugar de aristas.

El predicado camino tendrá como mínimo los siguientes argumentos:

```
/* camino(+Estado_inicial, +Estado_final, +Visitados, -Camino)
es cierto cuando Estado_inicial y Estado_final unifican con estados válido, Vi-
sitados unifica con una lista de estados visitados. */
```

```
camino(Inicio, Inicio, _, []).
```

```
camino(Inicio, Fin, Visitados, [Mov|Camino]):-
    length(Visitados, L), L < 10,
    mov(Mov, Inicio, Int),
    \+ member(Int, Visitados),
    camino(Int, Fin, [Int|Visitados], Camino).
```

Dependiendo del problema, el predicado camino puede tener algún argumento más si queremos, por ejemplo, guardar el coste total del camino.

Este camino tiene la particularidad de limitar como mucho a 11 (10 visitados + 1 paso final) la longitud del camino. Esta limitación tiene sentido cuando las posibilidades de exploración sean muchas y sepamos que en un número de pasos como máximo está la solución.

Podemos asimismo incluir la comprobación de si el nuevo estado es correcto después de realizar el movimiento. Esta comprobación la haremos con un predicado de validación que llamaremos valido(Estado). En este caso la comprobación se realiza dentro del predicado mov.

Por último, indicar que la lista de visitados contendrá estados, ya que es posible repetir el mismo movimiento siempre que no se pase dos veces por un mismo estado (para evitar caer en un bucle infinito).

### 4) Implementación del predicado solución

Este predicado hace uso de camino y los estados inicial y final y su implementación es muy sencilla. Su objetivo es hacer la llamada de forma correcta al predicado camino. Es importante remarcar que la lista de estados visitados inicialmente debe contener al estado inicial.

```
solucion(Camino):- inicial(Ei), final(Ef), camino(Ei, Ef, [Ei], Camino).
```

A continuación se muestra la implementación completa de la solución:

---

```

/* estado(Canibales_izq, Misioneros_izq, Pos_barca) */
inicial(estado(3,3,izq)).
final(estado(0,0,dch)).
/* pasar(?Num_misioneros, ?Num_canibales, ?Lugar)
   es cierto cuando Num_misioneros y Num_canibales unifica con una combinación
   válida de misioneros y misioneros válida según la especificación del problema y
   cuando lugar unifica con 'izq' o 'dch'. */
pasar(1,0,izq).
pasar(1,0,dch).
pasar(1,1,izq).
pasar(1,1,dch).
pasar(0,1,izq).
pasar(0,1,dch).
pasar(2,0,izq).
pasar(2,0,dch).
pasar(0,2,izq).
pasar(0,2,dch).

/*      mov(?Movimiento,      ?Estado_anterior,      ?Estado_posterior)
   es cierto cuando Movimiento unifica con un Movimiento válido, Estado_anterior
   unifica con un estado válido y Estado_posterior unifica con el estado resultante
   de aplicar el movimiento "Movimiento" al estado "Estado_anterior" */

mov(pasar(M, C, izq), estado(MI,CI, dch), estado(MD, CD, izq)):-
    pasar(M,C,izq),
    NT is M + C, NT <= 2, NT >= 1,
    M <= MI, C <= CI,
    MD is MI + M, CD is CI + C.

mov(pasar(M, C, dch), estado(MI, CI, izq), estado(MD, CD, dch)):-
    pasar(M,C,dch),
    NT is M + C, NT <= 2, NT >= 1,
    M <= MI, C <= CI,
    MD is MI - M, CD is CI - C.
/*  camino(+Estado_inicial,  +Estado_final,  +Visitados,  -Camino) es
   cierto cuando Estado_inicial y Estado_final unifican con estados válido, Visi-
   tados unifica con una lista
   */
camino(Inicio, Inicio, _, []).

camino(Inicio, Fin, Visitados, [Mov|Camino]):-
    length(Visitados, L), L < 10,
    mov(Mov, Inicio, Int),
    \+ member(Int, Visitados),
    camino(Int, Fin, [Int|Visitados], Camino).

```

---





# **PRÁCTICAS**

## **PRÁCTICAS CON HASKELL**





Ejecutar en Hugs:

```
Hugs> 1+1
```

comprobar que el intérprete muestra “2”.

ejecutar

```
Hugs> :type $$
```

```
Hugs muestra "1+1 :: Num a => a"
```

La expresión inicial no se ha reducido, se ha utilizado una función “show” que muestra el resultado de la expresión, dejando esta expresión invariante.

## SECCIÓN 2. ESCRIBIR UN PROGRAMA

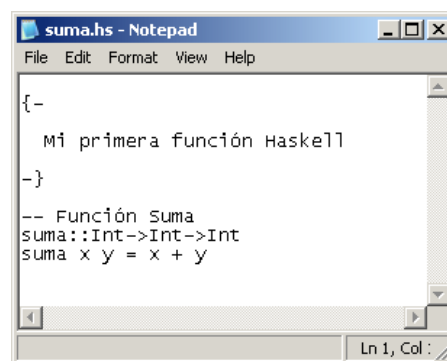
Para escribir un programa utilizaremos un editor de texto que no introduzca caracteres especiales. Nos servirá el bloc de notas de Windows. Hugs tiene configurado éste como editor por defecto. Podemos cambiar este editor utilizando el comando “:set”.

Antes de empezar con la edición de los ficheros, crearemos el directorio “H:\declarativa”.

La forma más sencilla de escribir un nuevo programa es introduciendo :edit <nombre\_fichero> en el prompt de Hugs:

```
Hugs> :edit "H:\\declarativa\\suma.hs"
```

Este comando editará el fichero suma.hs. Escribiremos lo siguiente en el fichero suma.hs:



Guardaremos el contenido del fichero y cerraremos la ventana. Durante la edición del fichero no podremos acceder a la ventana de Hugs.

A continuación cargaremos el fichero. Para ello, escribiremos :load <nombre\_fichero>:

```
Hugs> :load "H:\\declarativa\\suma.hs"
```

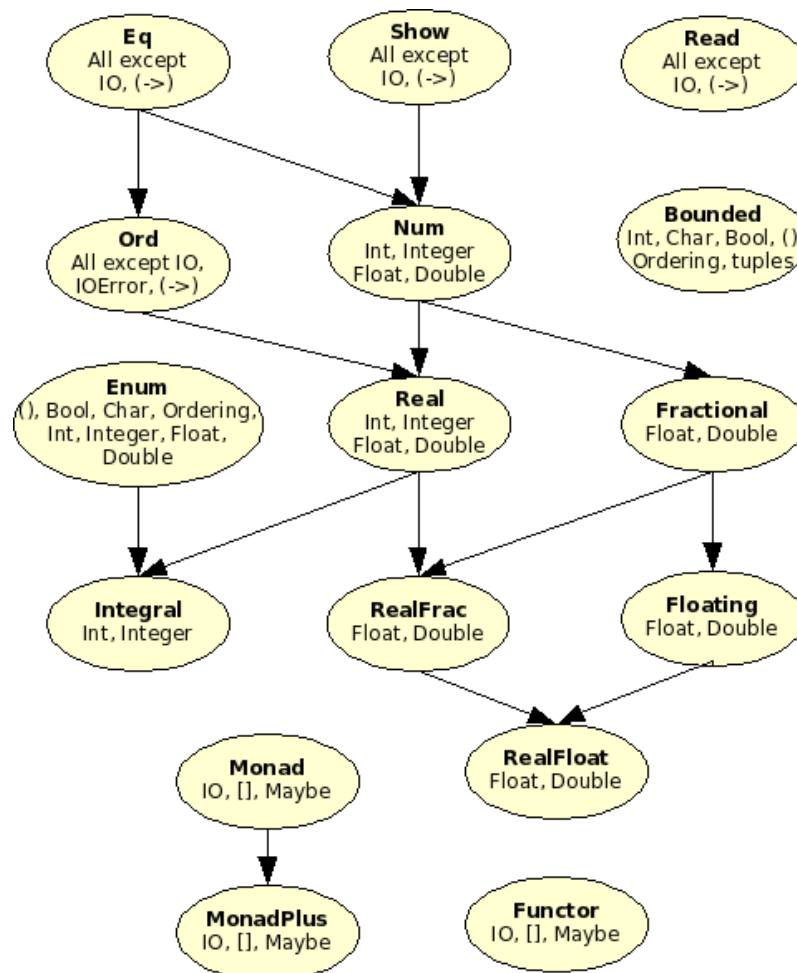
Podemos comprobar si se han cargado las funciones en memoria ejecutando `:info <nombre_función>`:

```
Hugs> :info suma
suma :: Int -> Int -> Int
```

El resultado es la cabecera de la función suma.

## SECCIÓN 4. TIPOS DE DATOS

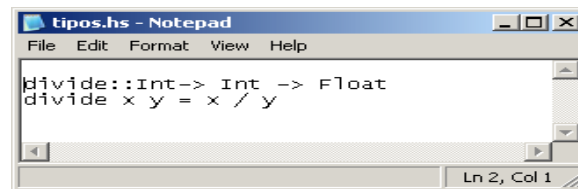
En el siguiente gráfico se muestra la relación entre las clases que agrupan los diferentes tipos de datos:



La clase Num, por ejemplo incluye a los tipos Int, Integer, Float y Double. La clase Fractional incluye al tipo Float y al tipo Double. A continuación veremos algunos ejemplos que muestran particularidades de Haskell con los tipos de datos:

```
Hugs> :edit "H:\\declarativa\\tipos.hs"
```

Escribiremos lo siguiente:



A continuación guardaremos el fichero y lo cargaremos en memoria:

```
Hugs> :load "H:\\declarativa\\tipos.hs"
```

Al cargar el fichero aparece el siguiente mensaje de error:

```
ERROR file:h:\declarativa\tipos.hs:3 - Type error in explicitly typed binding
*** Term           : divide
*** Type           : Int -> Int -> Int
*** Does not match : Int -> Int -> Float
```

Este error indica que no coincide la definición que hemos dado a la cabecera con la cabecera que Hugs ha deducido.

Para solucionar el problema, veamos qué tipo de dato esperaba la función “/” (divide). Ejecutaremos antes :load sin argumentos para que elimine de la memoria el fichero con el error y podamos proseguir.

```
Hugs> :load
```

```
Hugs> :info /
infixl 7 /
(/) :: Fractional a => a -> a -> a -- class member
```

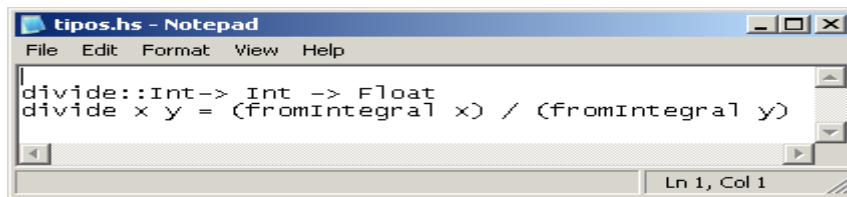
La cabecera indica que el tipo de dato que acepta la función “/” es de tipo Fractional, es decir Float o Double y que todos los argumentos son del mismo tipo. Por esta razón no podemos definir la función divide del tipo Int->Int->Float

Podemos solucionar este problema de dos formas.

a) La primera es dejando igual la cabecera y utilizando una de las funciones que convierten tipos.

En este caso utilizaríamos la función fromIntegral:

```
Hugs> :edit "H:\\declarativa\\tipos.hs"
```

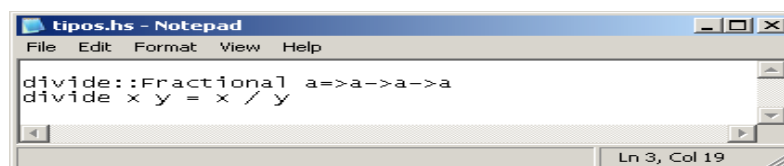


```
Hugs> :load "H:\\declarativa\\tipos.hs"
Main> divide 4 2
2.0
```

Nótese que el prompt **Hugs>** indica que no hay ningún módulo cargado y que el prompt **Main>** indica que hay al menos un fichero cargado en memoria.

- b) La segunda solución pasa por cambiar la cabecera para que acepte valores de entrada de tipo Fractional:

```
Main> :edit "H:\\declarativa\\tipos.hs"
```



```
Main> :load "H:\\declarativa\\tipos.hs"
Main> divide 4 2
2.0
```

Para terminar con los tipos de datos, recordar que aunque Haskell es capaz de inferir una cabecera para la función a partir de la implementación, nosotros escribiremos siempre la cabecera.

### SECCION 3. RESUMEN

<b>:t</b>	Muestra el tipo de dato de la expresión
<b>:type</b>	Muestra el tipo de dato de la expresión
<b>:?</b>	Muestra la lista de comandos básicos
<b>\$\$</b>	Última expresión introducida
<b>:load</b>	Cargar un fichero
<b>:edit</b>	Abre el editor por defecto
<b>:r</b>	Actualiza los módulos cargados
<b>:reload</b>	Actualiza los módulos cargados
<b>:set</b>	Muestra la lista de opciones para activar/desactivar
<b>:set +/-opción</b>	Activa o desactiva una opción.
<b>:set +t</b>	Activa la opción que muestra el tipo de dato
<b>:q</b>	Salir de Hugs

## Material complementario

- Utilizar el manual: “A tour of the Haskell Prelude”  
<http://www.cs.ut.ee/~varmo/MFP2004/PreludeTour.pdf>  
 para consultar las funciones más usuales definidas por defecto en Hugs.

## Ejercicios

1. Implementar la función `doble` que recibe un número y devuelve el doble.
2. Implementar la función `cuadrado` que recibe un número y devuelve su cuadrado.
3. Implementar la función `esPositivo` que sea verdad cuando su único argumento sea mayor que 0
4. Dada la siguiente definición del máximo de dos números:  $\max(x, y) = \frac{(x+y) + |x-y|}{2}$   
 implementar una función que devuelva el mayor de dos números de tipo `Float`.
5. Utilizando la función anterior, definir una nueva función que calcule el máximo de tres números.
6. Escribir la función `entre 0 y 9` que tome un entero y devuelva `True` si está entre 0 y 9 y `False` en otro caso.
7. Implementar la función `esMultiploDe3` que tome un entero y devuelva `True` si éste es múltiplo de 3 o `False` en otro caso.
8. Definir la función `loscuatroiguales::Int->Int->Int->Int->Bool` que devuelva `True` si los cuatro argumentos son iguales.
9. Utilizar la función anterior para crear una nueva llamada `lostresiguales` que reciba tres enteros y sea cierta si los tres enteros son iguales.
10. Definir la función `cuantosiguales::Int->Int->Int->Int` que recibe tres enteros y devuelve un entero indicando cuántos de los tres argumentos de entrada son iguales.
11. Implementar la función del ejercicio 4 utilizando sólo valores enteros.



## Listas en Haskell

En esta sesión veremos algunos mecanismos de Haskell para definir listas.

### SECCIÓN 1. LISTAS

En Haskell, una lista es una secuencia de valores del mismo tipo, por ejemplo [1,2,3,4,5] es una lista de 5 enteros (tipo Int), por otro lado [True, False, False, True] es una lista de 4 elementos booleanos (tipo Bool).

Haskell permite definir listas infinitas, por ejemplo [1..] es una lista infinita de enteros.

Una cadena de texto (tipo String), es una lista de caracteres (tipo Char). Si pedimos a Haskell que evalúe la lista ['a', 'b', 'c'] responderá que el resultado es "abc".

Haskell proporciona un mecanismo para definir fácilmente listas.

Evaluar las siguientes listas en el prompt de Hugs:

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| a) [1..10]      | d) ['q' .. 'z'] |
| b) [15..20]     | e) [14 .. 2]    |
| c) [15..(20-5)] |                 |

¿Los resultados son los esperados? Para números, caracteres y otros tipos enumerados (cualquier tipo en el que tenga sentido hablar del sucesor), la expresión [m..n] genera la lista [m,m+1,m+2,...,n]. Si n es menor que m (como en el ejemplo e) anterior), Haskell devuelve una lista vacía.

De forma más general, la expresión [m,p..n] genera la lista:

$$[m, m+(p-m), m+2(p-m), m+3(p-m) \dots n']$$

dónde n' es el mayor valor de la forma  $m+k*(p-m) \leq n$ . Con el fin de aclarar esta notación, ejecutar los siguientes ejemplos en Hugs:

- |                  |                      |
|------------------|----------------------|
| a) [1,3..10]     | d) ['a', 'd' .. 'z'] |
| b) [15,15.5..20] | e) [10,8 .. -3]      |
| c) [1,1.2..2.0]  | f) [1,2 .. 0]        |

¿Qué sucederá al evaluar esta expresión: [1,1..5]?

Utilizar el menú Actions -> Stop, si fuese necesario.

## SECCIÓN 2. NOTACIÓN EXTENDIDA DE LISTAS

La definición de una lista con esta definición consta de tres partes: 1) Generador, 2) Restricciones (puede que no haya ninguna) y 3) Transformación. El generador produce elementos de una lista, las restricciones filtran algunos elementos de los generados y la transformación utiliza los elementos seleccionados para generar una lista resultado.

Ejemplo:

```
[(x,True) | x <- [1 .. 20], even x, x < 15]
```

En la expresión anterior, `x <- [1..20]` es el generador, las restricciones son `even x` y `x < 15`; y `(x, True)` es la transformación. Esta expresión genera una lista de pares `(x, True)` donde `x` está entre 1 y 20, es par y menor que 15 (even es una función definida en el módulo Prelude estándar de Haskell). Compruebe como los elementos aparecen en el orden generado.

Comprobar el resultado anterior, con la evaluación de:

```
[(x,True)|x<-[20,19 .. 1],even x, x < 15]
```

De nuevo, los elementos aparecen en el orden que fueron generados.

Evaluar:

```
[[m+n] | (m,n) <- [(3,6), (7,3), (8,4), (1,3), (4,8)], n==2*m]
```

Esta expresión, genera una lista de listas de enteros, con aquellos pares cuya segunda componente es el doble que la primera. Esta expresión demuestra como utilizar plantillas `(m,n)` para aislar una determinada componente de la tupla.

Ahora probar la siguiente expresión:

```
[(x,y) | x <- [1..5], y == 1]
```

En este caso, Haskell muestra el siguiente error `Undefined variable “y”`. Las variables se definen en el generador. Si una variable no aparece en esta sección, no es posible utilizarla en otra.

Podemos utilizar la notación extendida de listas para definir funciones más generales. Por ejemplo, la siguiente función es una generalización de la expresión anterior:

```
aniadirPares::[(Int,Int)] -> [[Int]]
aniadirPares listaPares = [[m+n] | (m,n) <-
    listaPares, n == 2*m]
```

La declaración de tipos de la función especifica que acepta una lista de pares de enteros y devuelve una lista de listas de enteros.

Probar la función con los siguientes argumentos:

```
aniadirPares [(3,6),(7,3),(8,4),(1,3),(4,8)]
aniadirPares [(3,7),(8,9),(1,3)]
```

Por último, el siguiente ejemplo muestra cómo utilizar la notación extendida de listas como parte de una función un poco más compleja. Las siguientes funciones indican cuándo una lista contiene sólo valores pares (o sólo valores impares).

```
todosPares, todosImpares :: [Int] -> Bool
todosPares lista = (lista == [x | x <- lista, x `mod` 2 == 0])
todosImpares lista = ([ ] == [x | x <- lista, x `mod` 2 == 0])
```

Por ejemplo, evaluar las siguientes expresiones:

```
todosPares [1 .. 20]
todosImpares [1 .. 20]
todosPares [1,3 .. 20]
todosImpares [1,3 .. 20]
todosPares [ ]
```

### SECCIÓN 3. UTILIZACIÓN DE PLANTILLAS CON LISTAS

La siguiente función utiliza la notación extendida de listas. Recibe una lista como argumento y devuelve otra lista con todos sus elementos multiplicados por 2.

```
doblarTodos :: [Int] -> [Int]
doblarTodos lista = [2*x | x <- lista]
```

Esta definición de lista incluye el generador `x <- lista` y una transformación `2*x`. El resultado de la lista contiene siempre el mismo número de elementos que la lista original puesto que la definición no incluye ninguna restricción. Por ejemplo, `doblarTodos [1,2,3,4,5]` devuelve una lista con cinco elementos.

A continuación, una versión de `doblarTodos` utilizando recursividad:

```
doblarTodos :: [Int] -> [Int]
doblarTodos [] = []
doblarTodos (cab:resto) = 2*cab : doblarTodos
    resto
```

A continuación, una versión recursiva de la función `aniadirPares`, implementada en la sección anterior:

```
aniadirPares [] = []
aniadirPares ((m,n):resto) = [m+n] : aniadirPares
    resto
```

Un vez más, podemos comprobar cómo la definición recursiva utiliza exactamente la misma transformación que la implementación utilizando notación extendida de listas.

#### SECCIÓN 4. SELECCIONANDO ELEMENTOS

Hemos visto que utilizando la notación extendida de lista podemos filtrar algunos elementos de la lista original añadiendo restricciones. Por ejemplo, la siguiente función acepta una lista de enteros y devuelve el doble de todos los elementos menores que 10, eliminando el resto:

```
doblarAlgunos :: [Int] -> [Int]
doblarAlgunos lista = [ 2*x | x <- lista, x < 10]
```

A continuación una versión de la función `doblarAlgunos` utilizando recursividad:

```
doblarAlgunos [] = []
doblarAlgunos (cab:resto)
  | cab < 10 = 2*cab : doblarAlgunos resto
  | otherwise = cab : doblarAlgunos resto
```

Esta función es similar a la función `doblarTodos` excepto porque no se añaden todos los elementos  $2*x$ . En esta versión sólo añadimos a la lista aquellos elementos que satisfacen que  $x < 10$ .

Otro ejemplo similar es esta implementación de la función `aniadirPares` utilizando recursividad:

```
aniadirPares [] = []
aniadirPares ((m,n):resto)
  | n == 2*m = [m+n] : aniadirPares resto
  | otherwise = aniadirPares resto
```

#### SECCIÓN 5. COMBINANDO RESULTADOS

La notación extendida de listas es útil para convertir listas en otras nuevas listas, sin embargo, no proporciona un modo de convertir listas en algo que no sea una lista. Por ejemplo, la notación extendida de listas no sirve para encontrar el máximo de una lista.

Podemos utilizar para este propósito el mismo tipo de plantillas que hemos visto en las funciones recursivas. La idea es que podemos combinar un elemento de la lista con el resultado obtenido por la llamada recursiva.

Por ejemplo, consideremos la siguiente función que suma los elementos de una lista de enteros:

```
sumaLista :: [Int] -> Int
sumaLista [] = 0
sumaLista (cab:resto) = cab + sumaLista resto
```

Podemos comprender cómo esta definición es similar a la que hemos visto anteriormente, salvo por el uso del operador “+” para combinar los resultados, en vez del operador “:”; y por que no tiene sentido devolver una lista vacía en la primera ecuación, ya que sumaLista devuelve un entero.

A continuación veremos otros dos ejemplos de funciones recursivas que combinan el primer elemento de la lista con el resultado de evaluar el resto de misma. En la primera función se utiliza el operador “+” para sumar el cuadrado (cabeza\*cabeza) del primer elemento:

```
sumaCuadrados :: [Int] -> Int
sumaCuadrados [] = 0
sumaCuadrados (cab:resto) = cab*cab + sumaCuadrados
    resto
```

En el segundo ejemplo se utiliza el operador “++” para concatenar la primera de las listas con el resultado de evaluar el resto de una lista de listas:

```
concatena :: [[a]] -> [a]
concatena [] = []
concatena (cab:resto) = cab ++ concatena resto
```

## Ejercicios

Generar cada una de las siguientes listas utilizando la notación extendida de listas, con la lista [1..10] como generador. Es decir, cada solución debe tener la siguiente forma, donde se deben completar los blancos y sólo los blancos:

[\_\_\_\_\_ | x <- [1 .. 10] \_\_\_\_\_]

De forma más explícita, la respuesta debe utilizar el generador x<- [1.. 10], y no debe añadir a esta definición ninguna llamada a función: por ejemplo, no utilizar reverse [x | x <- [1 .. 10]] para crear la lista [10,9,8,7,6,5,4,3,2,1]. De la misma forma, modificaciones del tipo [x|x <- [10,9..1]] y [x|x <- reverse[1 ..10]] también están prohibidas.

1. [11,12,13,14,15,16,17,18,19,20]
2. [[2],[4],[6],[8],[10]]
3. [[10],[9],[8],[7],[6],[5],[4],[3],[2],[1]]
4. [True,False,True,False,True, False,True,False,True,False]
5. [(3,True),(6,True),(9,True),(12,False),(15,False),(18,False)]
6. [(5,False),(10,True),(15,False),(40,False)]
7. [(11,12),(13,14),(15,16),(17,18),(19,20)]
8. [[5,6,7],[5,6,7,8,9],[5,6,7,8,9,10, 11],[5,6,7,8,9,10,11,12,13]]
9. [21,16,11,6,1]
10. [[4],[6,4],[8,6,4],[10,8,6,4],[12,10,8,6,4]]

### Patrones, tuplas, recursividad y notación extendida de listas en Haskell

En esta sesión realizaremos ejercicios utilizando **patrones, tuplas, recursividad y notación extendida de listas**.

1. Implementar la función divisores que recibe un argumento entero y que devuelva la lista de sus divisores.

```
Main> divisores 9
[1,3,9]
```

2. Utilizando la función anterior, programar la función primo que devuelva verdadero en caso de que su único argumento entero sea un número primo. No consideraremos al número 1 como primo.
3. Crear una expresión con la que se obtengan los primos entre 1 y 100. Utilizar la notación extendida de listas para este ejercicio.
4. Averiguar cómo funcionan las funciones map y filter e implementarlas utilizando la notación extendida de listas. Llamar a las nuevas funciones mapea y filtra.
5. Programar una función evaluaciones con la siguiente cabecera  
`evaluaciones::[a]->[(a->b)]->[[b]]`

La lista de listas resultante contiene listas con los resultados de aplicar a cada uno de los valores de la primera lista las funciones de la segunda lista. Por ejemplo:

```
Main> evaluaciones [1,2,3] [doble, triple]

[[2,3],[4,6],[6,9]]
```

6. Utilizar la función anterior para evaluar si los siguientes valores  $[0, (3.14/2), ((-3.14)/2), 3.14, (-3.14)]$  cumplen que el seno es mayor que 0, el coseno es 0 y la tangente es 0. Componer la lista de funciones utilizando el operador de composición “.”. El resultado para este ejemplo será:

```
[[False,False,True],[True,False,False],[False,False,False],[True,False,False],
[False,False,False]]
```

7. Implementar una función que devuelva la descomposición en factores primos de un número entero. La función devolverá una lista de tuplas tal que la primera componente será el factor primo y la segunda será el número de veces que dicho factor primo divide al argumento original.

Ejemplo:

```
Main> descomposicion 60
[(2,2),(3,1),(5,1)]
```

8. Averiguar qué devuelven las funciones `takeWhile` y `dropWhile` e implementar su propia versión. Llamar a las nuevas funciones `tomarMientras` y `eliminarMientras`.

```
Main> tomarMientras (<5) [1..10]
[1,2,3,4]
```

```
Main> eliminarMientras (<5) [1..10]
[5,6,7,8,9,10]
```

9. Programar la función `quita_blanco` que elimine los blancos iniciales de una cadena de caracteres.

```
Main> quitaBlancos "   bcd fgh"
"bcd fgh"
```

10. Revisar los ejercicios realizados e intentar localizar los puntos en los que se utilizó alguna de las características más importantes de Haskell: *currificación* y *funciones de orden superior*.

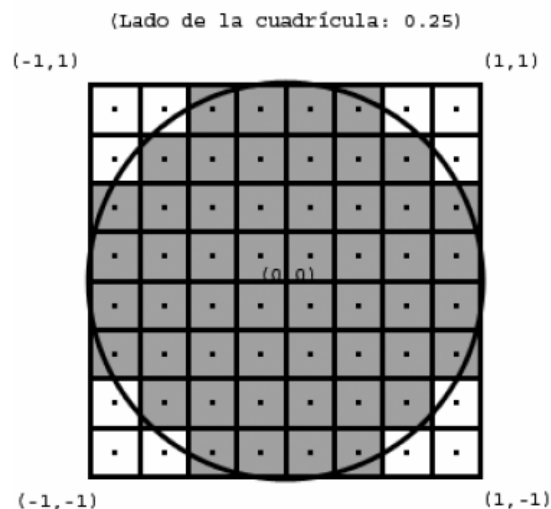
## Ejercicios de Haskell de exámenes anteriores

En esta última sesión de Haskell realizaremos algunos ejercicios aparecidos en exámenes anteriores.

1. Implementar una función que aproxime el cálculo de la integral de una función en el intervalo  $[a, b]$  y dado un factor de precisión  $t$ .

```
integral funcion a b t
```

2. **(Febrero 2006)** Implementar una función que aproxime el valor de  $\pi$ . Para obtener el valor aproximado de  $\pi$  utilizaremos un cuadrado de lado 2. En el centro del cuadrado fijaremos en centro de referencia  $(0,0)$ . Haremos una rejilla dentro del cuadrado de lado  $t$ . Por último, contaremos cuantos centros de los cuadrados de la rejilla están dentro del círculo. Esto nos dará un valor aproximado de  $\pi$ . Cuanto menor sea  $t$ , más precisión tendrá la aproximación.



Área del círculo:

$$A = \pi * r^2$$

Distancia entre los puntos  $(x_1, y_1)$  y  $(x_2, y_2)$ :

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

3. **(Noviembre de 2006)** Implementar en Haskell una función que calcule la clave hash de una cadena. La función hash utilizada es:

$$f([a_1, a_2, \dots, a_n]) = a_1 * p^n + a_2 * p^{n-1} + \dots + p^1 * a_n.$$



Donde los  $a_i$  son los caracteres incluidos en la lista y  $p_i$  son los  $i$ -ésimos números primos ( $p_1=2, p_2=3, p_3=5, p_4=7 \dots$ ).

**4. (Septiembre 2007)** Suponiendo que se implementan en Haskell los conjuntos como LISTAS SIN REPETICION, implementar las funciones:

**pertenece elemento conjunto:** devuelve True si un elemento pertenece a ese conjunto, False en caso contrario.

**subconjunto conjunto1 conjunto2:** devuelve True si el primer argumento es subconjunto del segundo.

**iguales conjunto1 conjunto2:** devuelve True si dos conjuntos son iguales.

**union conjunto1 conjunto2:** devuelve una lista que es la unión de los dos conjuntos (SIN REPETICIONES).



# **PRÁCTICAS CON PROLOG**



## Introducción al entorno SWI-Prolog

En esta primera práctica nos familiarizaremos con el entorno de programación de SWI-Prolog.

### SECCIÓN 1. EMPEZANDO

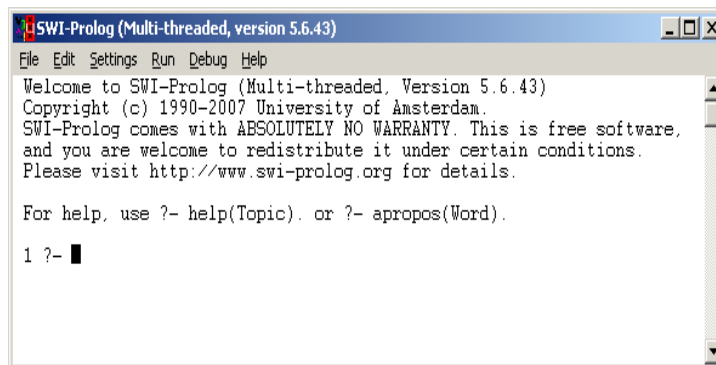
- Seleccionar el arranque del sistema Operativo Windows XP.

### SECCIÓN 4. EJECUTAR SWI-PROLOG

- En el menú “Inicio” de Windows seleccionar el programa SWI-Prolog



- Aparecerá una ventana como ésta:



- Desde esta ventana cargaremos los programas y haremos las consultas.

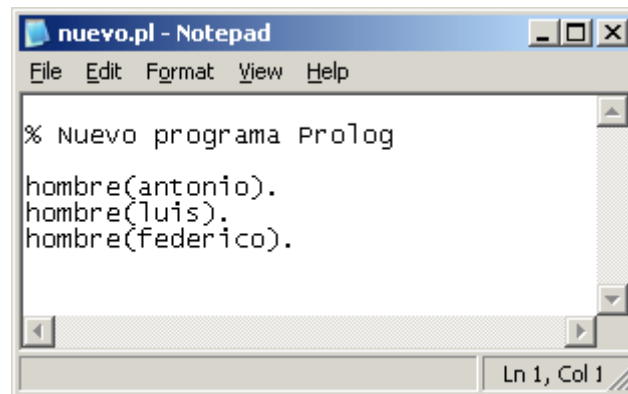
### SECCIÓN 5. ESCRIBIR UN PROGRAMA

Para escribir un programa utilizaremos un editor de texto que no introduzca caracteres especiales. Nos servirá el bloc de notas de Windows. SWI-Prolog tiene configurado este editor por defecto.

La forma más sencilla de escribir editar un nuevo programa es escribir

```
edit(file('nombre_fichero.pl')).
en el prompt de SWI-Prolog:
1?- edit(file('nuevo.pl')).
```

Este comando editará el fichero 'nuevo.pl'. Utilizaremos la extensión “.pl” para los programas Prolog. El fichero se guardará por defecto en el directorio “Mis documentos\Prolog”. Escribiremos lo siguiente teniendo en cuenta que los predicados y las constantes empiezan con minúscula:



Guardaremos el contenido del fichero y cerraremos la ventana. Durante la edición del fichero no podemos acceder a la ventana de SWI-Prolog.

Cargaremos el fichero con la orden `consult('<nombre_fichero>')`.

```
? - consult('nuevo.pl').
```

Podemos comprobar si, efectivamente se cargó el fichero utilizando la orden `listing`, que mostrará el programa cargado.

```
? - listing.
hombre(antonio).
hombre(luis).
hombre(federico).
Yes
?-
```

A partir de este momento podemos empezar a hacer consultas

```
? - hombre(antonio).
```

```
Yes
```

```
? - hombre(federico).
```

```
Yes
```

```
? - hombre(manuel).
```

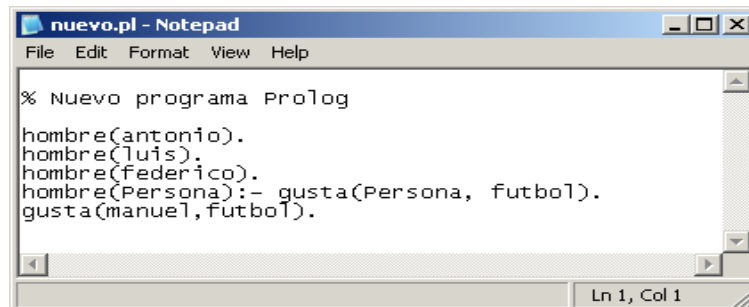
```
No.
```

Por la *hipótesis del mundo cerrado*, lo no definido es falso.

Modificaremos el programa anterior para incluir las siguientes líneas:

```
hombre(persona) :- gusta(Persona, futbol).
gusta(manuel, futbol).
```

Tendremos en cuenta que *Persona* es una variable y la escribiremos en mayúscula.



```
% Nuevo programa Prolog
hombre(antonio).
hombre(luis).
hombre(federico).
hombre(Persona):- gusta(Persona, futbol).
gusta(manuel,futbol).
```

Después de modificar un fichero, actualizamos los cambios ejecutando la orden “make”.

```
?- make.
```

Realizaremos ahora la consulta anterior ¿Hombre manuel?

```
? hombre(manuel).
```

Yes

## Operadores

Los operadores más utilizados en Prolog son “=”, “==”, “is” y “:=”.

“=” leeremos unificación.

Dos términos unifican:

- 1) Si no tienen variables, unifican si son idénticos (iguales carácter a carácter).
- 2) Si tienen variables, unificarán si es posible encontrar una sustitución de las variables de forma que lleguen a ser idénticos.

El operador de unificación no evalúa operaciones aritméticas. Antes de unificar una variable a un valor diremos que la variable está “libre” o “sin instanciar”. Tras unificar un valor a una variable, la variable deja de estar libre y diremos que la variable está instanciada. Una variable, una vez que se instancia, no cambia de valor.

```
?- x = 1+1.
```

```
x = 1+1.
```

Yes

“==” identidad

```
?- 2 == 1+1.
```

No.

”is” evalúa expresiones aritméticas. Evalúa a la derecha y unifica con la izquierda.

```
?- X is 1+1.
```

```
X = 2
```

```
?-
```

“==” evalúa expresiones aritméticas y compara. Evalúa expresiones aritméticas a derecha e izquierda y es cierto si el resultado de las evaluaciones es el mismo valor.

```
?- 2 == 1+1.
```

Yes

## SECCIÓN 6. ÁMBITO DE UNA VARIABLE

En la mayoría de los lenguajes de programación, si la variable se define dentro de una función, la variable puede ser referenciada desde cualquier punto de la función. Decimos que el ámbito de la variable es la función en la que está definida.

En Prolog el ámbito de una variable está restringida a una cláusula. Fuera de una cláusula la variable no puede ser referenciada. Esta es una de las diferencias más importantes de Prolog respecto a la mayoría de lenguajes de programación. De este modo, en el programa Prolog:

```
nombre_numero(X, 0) :- X = cero.
nombre_numero(X, 1) :- X = uno.
```

la variable X que aparece en el consecuente de la primera cláusula es la misma que la que aparece en el antecedente de esa misma cláusula pero es diferente de la variable X que aparece en consecuente y antecedente de la segunda cláusula.

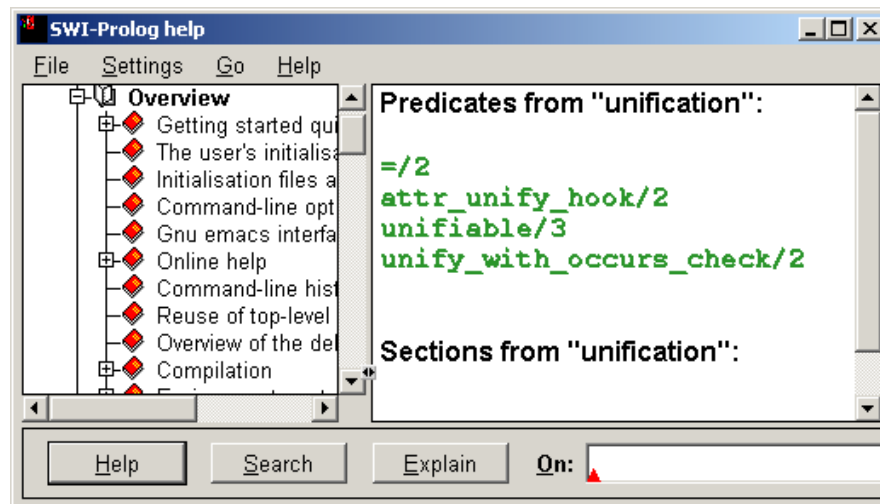
## SECCIÓN 7. PREDICADOS DE AYUDA

Podemos consultar información sobre cualquier predicado con el comando “apropos”

```
apropos(unification).
```



Aparecerá la siguiente ventana:



Invocaremos a esta misma ventana con el predicado `help`. Los predicados en Prolog se nombran de la siguiente forma `nombre_predicado/aridad`. La aridad es el número de argumentos que tiene el predicado. Por ejemplo, el predicado unificación `=/2`, tiene aridad 2.

## SECCIÓN 8. DEPURADOR

Habilitaremos el depurador gráfico con el predicado “`guitracer`”.

```
?- guitracer.
```

```
% The graphical front-end will be used for subsequent tracing
```

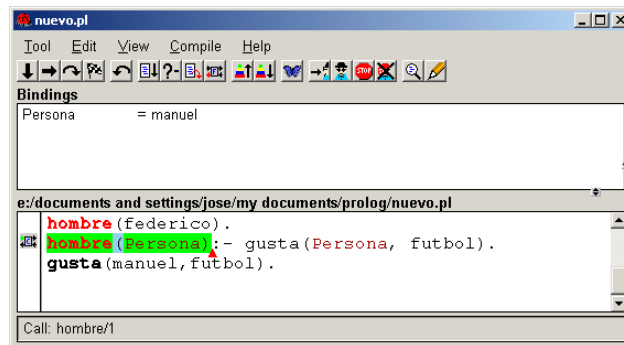
```
Yes
```

Para depurar un programa Prolog utilizaremos el comando “`trace`”. La siguiente consulta que realicemos después del predicado “`trace`” se ejecutará paso a paso. Si el depurador gráfico está habilitado se mostrará la siguiente ventana. Para avanzar la ejecución pulsaremos la barra espaciadora o utilizaremos los iconos de avance y retroceso.

```
?- trace.
```

```
Yes
```

```
? - hombre(manuel).
```



## Ejercicios

### 1. Unificación.

Comprobar si unifican los siguientes términos:

- (a)  $X=1$ .
- (b)  $X = mujer(maria)$ .
- (c)  $X = 2 + 3$ .
- (d)  $X=1, X=2, X=Y$ .
- (e)  $X=2+X$ .
- (f)  $X=1, Y=1, X=Y$ .
- (g)  $X=2, Y=1+1, X = Y$ .
- (h)  $X=3+4, Y= 7, X = Y$ .
- (i)  $X = 2*6, X=2*Y$ .
- (j)  $5 = 2 + 3$ .
- (k)  $2 + 3 = 2 + Y$ .
- (l)  $f(X, b) = f(a, Y)$ .
- (m)  $2*X = Y*(3+Y)$ .
- (n)  $(1+2) = 1+2$ .
- (o)  $1+1 = +(1,1)$ .
- (p)  $(1+1)+1 = 1+(1+1)$ .

### 2. Ejercicios de Aritmética y Unificación.

Comprobar si unifican los siguientes términos:

- (a)  $X \text{ is } 2 + 3, X = 5$ .
- (b)  $X \text{ is } 2 + 3, X = 2 + 3$ .
- (c)  $2 + 3 \text{ is } X$ .
- (d)  $X \text{ is } 5, 6 \text{ is } X + 1$ .
- (e)  $X = 5, 6 = X + 1$ .
- (f)  $6 \text{ is } X + 1, X = 5$ .
- (g)  $Y = 2, 2*X \text{ is } Y*(Y+3)$ .
- (h)  $Y = 2, Z \text{ is } Y*(Y+3)$ .

## Predicados sencillos en Prolog

En esta sesión implementaremos algunos predicados sencillos utilizando recursividad en la mayoría de los casos.

### Ejercicios

1. Implementar `natural(X)` que será cierto si `X` es un número natural.

```
?- nat(6).
yes
```

```
?- nat(-13).
no
```

2. Implementar el predicado Prolog `factorial(Número, Resultado)` que será cierto si `Resultado` unifica con el factorial de “Número”.

3. Implementar el predicado `fib(N, F)`. Que será cierto cuando “F unifique con el N-ésimo número de Fibonacci”. Estos números son:

```
fib(1)=1,
fib(2)=1,
fib(3)=2,
fib(4)=3,
fib(5)=5,
.....,
fib(n)=fib(n-1) + fib(n-2),
```

4. Dada una serie de platos, clasificados en primer plato, segundo plato y postre con su respectivo precio asociado, elaborar un predicado que encuentre un menú completo por un coste menor a `N`. Ejemplo:

```
menu(Primer_plato, Segundo_plato, Postre, Precio),
Precio < 50.

Primer_plato=sopa
Segundo_plato=jamón
Postre=helado
```

5. Implementar el predicado `suma(X,Y,Z)` que representa la suma de dos números naturales utilizando la representación del matemático italiano **Giuseppe Peano** (1858–1932) que está basada en la utilización del símbolo 0 y el predicado `s(X)` que representa el siguiente de `X`.

```
0=0
1 = s(0)
2 =s(s(0))
3=s(s(s(0)))
```

.....

suma(s(0), s(0), Z) .

Z=s(s(0))

Yes

6. Utilizando la representación del ejercicio anterior, implementar los predicados resta(X,Y,Z) y producto(X,Y,Z).

7. Implementar el ejercicio 3 de forma que el predicado fib(N,F) sea reversible, es decir, que sea posible hacer la llamada dejando el primer argumento libre e instanciando el segundo. Este ejercicio es algo más complicado que los anteriores y para solucionarlo será necesario utilizar la aritmética de G. Peano.

Ejemplo:

fib(N, s(s(0)))

N=s(s(s(0)))

Yes

## Predicados sobre listas en Prolog

En esta sesión implementaremos algunos predicados sobre listas.

### Ejercicios

1. Tratar de predecir la unificación que resulta en los siguientes ejemplos y confirmar luego ejecutando cada uno:

```
?- [X| Y] = [a, b, c, d].
?- [X, Y| Z] = [a, b, c].
?- [X, Y| Z] = [a, b, c, d].
?- [X, Y, Z| A] = [a, b, c].
?- [X, Y, Z| A] = [a, b].
?- [X, Y, a] = [Z, b, Z].
?- [X, Y| Z] = [a, W].
```

2. Definir en Prolog los siguientes predicados recursivos para manejar listas:

- a) Dados dos elementos, crear una lista con esos dos elementos.
- b) Insertar un elemento en una lista:
  - 1) Al comienzo de la lista.
  - 2) Al final de la lista.
  - 3) En la posición N de una lista.
- c) Concatenar dos listas y usar ese predicado para implementar los predicados:
  - 1) prefijo
  - 2) sufijo
  - 3) sublista
- d) Invertir una lista.
- e) Borrar un elemento en una lista:
  - 1) Borrando sólo una aparición del elemento.
  - 2) Borrando todas las apariciones de ese elemento.
- f) Cambiar un cierto elemento por otro:
  - 1) Cambiar sólo una aparición del elemento.
  - 2) Cambiar todas las apariciones de ese elemento.
- g) Dada una lista de longitud n, generar otra lista de longitud 2n que sea un palíndromo.

h) Desplazar una posición a la derecha todos los elementos de una lista. Por ejemplo, pasar de la lista  $[x_1, x_2, \dots, x_n]$  a la lista  $[x_n, x_1, \dots, x_{n-1}]$ .

i) Desplazar una posición a la izquierda todos los elementos de una lista. Por ejemplo, pasar de la lista  $[x, x_2, \dots, x_n]$  a la lista  $[x_2, \dots, x_n, x_1]$ .

3. Definir un predicado `dividir(+N, +LOrig, -May, -Men)` que se cumpla si la lista `May` contiene los elementos mayores de un número `N` de la lista `LOrig` y `Men` contiene los elementos menores de un número `N` de la lista `LOrig`.

```
?-dividir(4, [3,1,2,5,0], Mayores, Menores).
Mayores = [5]
Menores = [1, 2, 3, 0]
```

4. Definir un predicado `mezclar_ord(+L1, +L2, -Resul)` de forma que, siendo `L1` y `L2` dos listas ordenadas, se cumple que la lista `Resul` contiene la mezcla de los elementos de las dos listas `L1` y `L2`, y es también una lista ordenada.

```
?-mezclar_ord([1,2,7], [0, 3,5], Resul).
Resul = [0, 1, 2, 3, 5, 7]
```

5. Definir un predicado `ordena(Lista, R)` que se cumple si la lista `R` contiene los elementos ordenados de `Lista`.

```
?-ordena([3,1,2], V).
V = [1, 2, 3]
```

a) Como permutaciones de una lista, hasta que encuentre la ordenada.

b) Como separación de listas, ordenación y mezcla.

6. Escribir un predicado `prod(+L, ?P)` que significa “`P` es el producto de los elementos de la lista de enteros `L`”. Debe poder generar la `P` y también comprobar una `P` dada.

7. Escribir un predicado `pEscalar(+L1, +L2, -P)` que significa “`P` es el producto escalar de los dos vectores `L1` y `L2`”. Los dos vectores vienen dados por las dos listas de enteros `L1` y `L2`. El predicado debe fallar si los dos vectores tienen una longitud distinta.

8. `divisores(+N, ?L)`. Dado un natural `N`, `L` es la lista de divisores de `N` en orden creciente. Por ejemplo, si `N` es 24, `L` será  $[1, 2, 3, 4, 6, 8, 24]$ . Debe contestar YES si una `L` dada es la lista de los divisores de un `N` dado y NO en caso contrario; y debe poder generar `L` para un `N` dado. Con `divisores(6, [2, 3, 6, 1])` ha de responder NO (la lista no está ordenada!).

9. `permuta(+L, -P)`. “La lista `P` contiene una permutación de los elementos de la lista `L`”. La lista `L` inicialmente estará instanciada, y `P` no. Ejemplo: `L = [1, 2, 3]` daría `P = [1, 2, 3]`, `P = [1, 3, 2]`, `P = [2, 1, 3]`, etc. En el caso de que la lista a permutar tuviera elementos repetidos, deben permitirse permutaciones repetidas.

10. Un conjunto puede ser modelado mediante una lista de elementos sin repeticiones. Adoptando esta representación, implementar las siguientes operaciones sobre conjuntos en lenguaje Prolog.

- a) Determinar si un elemento pertenece a un conjunto.
- b) Incorporar un elemento a un conjunto.
- c) Unir dos conjuntos.
- d) Hallar la intersección de dos conjuntos.
- e) Calcular la diferencia entre dos conjuntos.
- f) Dada una lista de elementos con repeticiones, construir un conjunto que contenga todos los elementos de esa lista.

11. Un MULTI-conjunto puede ser modelado mediante una lista de elementos (elemento, multiplicidad). Adoptando esta representación, implementar las siguientes operaciones sobre conjuntos en lenguaje Prolog.

- a) Determinar si un elemento pertenece a un conjunto.
- b) Calcular la multiplicidad de un elemento.

## Árboles en Prolog

### Árboles binarios

1. Implementar el predicado `cuenta_nodos/2` que cuente el número de nodos que tiene un árbol binario.
2. Implementar el predicado `cuenta_internos/2` que cuente el número de nodos INTERNOS (que tienen al menos un hijo) que tiene un árbol binario.
3. Implementar el predicado `cuenta_hojas/2` que cuente el número de nodos HOJA (que no tienen ningún hijo) que tiene un árbol.
4. Implementar el predicado `suma_nodos/2` que sume el contenido de todos los nodos de un árbol.
5. Escribir el predicado `miembro/2` que indique si un elemento X, pertenece a un árbol.
6. Implementar los predicados `iguales/2`, `simetricos/2` e `isomorfo/2` que serán ciertos cuando dos árboles cumplan dichas propiedades.
7. Implementar el predicado `profundidad/2` que será cierto cuando el segundo argumento unifique con la profundidad del árbol.
8. Implementar el predicado `balanceado/1` que será cierto cuando el árbol esté balanceado.
9. Implementar los siguientes predicados que transforman los recorridos de un árbol en una lista.

```
inorden/2
preorden/2
postorden/2
anchura/2 (de izquierda a derecha)
```

### Árboles genéricos

Repetir los ejercicios anteriores, excepto los recorridos en `inorden`, `preorden` y `postorden` del ejercicio 9, considerando árboles genéricos en lugar de binarios.

### Árboles binarios de búsqueda,

Implementar en Prolog los siguientes predicados:

`crearArbolVacio(X)`: retorna en X un árbol vacío.

`insertar(E, A, NA)`: inserta el elemento E en el árbol A, retornando el nuevo árbol en NA (asumir que si el elemento a ser insertado ya pertenece al árbol, entonces se retorna el mismo árbol).



`altura(A, X)`: retorna en X la altura del árbol A.

`equilibrado(A)`: determina si el árbol A está equilibrado o no.

`recorridos(A, Pre, Post, In)`: a partir del árbol A retorna en Pre, Post e In sus recorridos en pre-orden, postorden e inorden respectivamente.

Implementar un predicado que construya un árbol binario de búsqueda a partir de una lista de números enteros.

Ejemplo:

```
?- construir([3,2,5,7,1],T) .  
T = t(3,t(2,t(1,nil,nil),nil),t(5,nil,t(7,nil,nil)))
```

## Grafos en Prolog

1. Escribir un programa Prolog que pinte un sobre como el de la figura sin levantar el lápiz del papel, es decir, recorre el grafo pasando exactamente una vez por cada arco.

2. Representar el grafo de la figura en Prolog:

Escribir un programa Prolog que encuentre todos los caminos posibles entre Madrid y Oviedo, construyendo una lista de las ciudades por las que pasa.

Añadir los elementos necesarios para que calcule:

- La lista de las carreteras por las que pasa cada camino.
- La distancia recorrida por cada uno de ellos.

¿Qué ocurriría si el grafo propuesto no fuera dirigido y acíclico como el propuesto? Para analizar esta posible circunstancia, introducir dos arcos más en el grafo:

- León-Palencia (N 610,130 Km.)
- Palencia-Valladolid (N 620, 47 Km.)

y comprobar el comportamiento del programa.

Proponer una solución para evitar los bucles e implementarla.

3. Un grafo puede ser expresado como  $G = (V, A)$ , donde  $V$  es el conjunto (lista sin repetición) de vértices y  $A$  el conjunto de arcos  $(a_i, a_j)$ , etiquetados por la distancia que separa al vértice  $a_i$  del vértice  $a_j$ .

Crear un programa en Prolog con los predicados:

- camino( $G, N1, N2, Cam$ ), que encuentre el camino entre dos nodos y devuelva una lista con los nodos por donde pasa. Mediante backtraking deberá encontrar todos los caminos posibles.
- distancia( $G, N1, N2, D$ ), que calcule la distancia entre cualquier par de vértices. Implementar dos versiones: una que admita ciclos y otra que no.
- ciclos( $G, Ciclo$ ), que encuentre los ciclos dentro de un grafo. Esto consiste en encontrar un camino que vaya de un nodo a él mismo.
- conexo( $G$ ), que compruebe que un grafo es totalmente conexo. Se dice que un grafo es totalmente conexo cuando existen caminos entre todos sus nodos.
- grado( $G, N, Gr$ ) que nos diga el grado de un nodo dentro de un grafo. El grado de un nodo es el número de nodos con los que se conecta.
- listagrados( $G, L$ ) que genere una lista con todos los nodos y sus grados.
- pintargrafo( $G, LC, LNod$ ) que pinte el grafo  $G$  con una lista de colores  $LC$  y nos devuelva una lista  $LNod$  con cada uno de los nodos y su color, de forma que dos nodos adyacentes no pueden tener el mismo color.



