



# Fundamentos de Programación

Curso 2015/2016

El color marrón se utilizará para los títulos de las secciones, apartados, etc

El color azul se usará para los términos cuya definición aparece por primera vez. En primer lugar aparecerá el término en español y entre paréntesis la traducción al inglés.

El color rojo se usará para destacar partes especialmente importantes

Apuntes confeccionados por  
Juan Carlos Cubero.  
Universidad de Granada.



Algunos símbolos usados:



Principio de Programación.



denota algo especialmente importante.



denota código bien diseñado que nos ha de servir de modelo en otras construcciones.



denota código o prácticas de programación que pueden producir errores lógicos graves



denota código que nos da escalofríos de sólo verlo.



denota código que se está desarrollando y por tanto tiene problemas de diseño.



denota un consejo de programación.



denota contenido de ampliación. No entra como materia en el examen.



Reseña histórica.



denota contenido que el alumno debe estudiar por su cuenta. Entra como materia en el examen.

# Contenidos

I. Introducción a la Programación	1
I.1. El ordenador, algoritmos y programas	2
I.1.1. El Ordenador: Conceptos Básicos	2
I.1.2. Datos y Algoritmos	3
I.1.3. Lenguajes de programación	6
I.1.4. Compilación	12
I.2. Especificación de programas	13
I.2.1. Organización de un programa	13
I.2.2. Elementos básicos de un lenguaje de programación	18
I.2.2.1. Tokens y reglas sintácticas	18
I.2.2.2. Palabras reservadas	19
I.2.3. Tipos de errores en la programación	20
I.2.4. Cuidando la presentación	22
I.2.4.1. Escritura de código fuente	22
I.2.4.2. Etiquetado de las Entradas/Salidas	23
I.3. Datos y tipos de datos	24
I.3.1. Representación en memoria de datos e instrucciones	24
I.3.2. Datos y tipos de datos	25
I.3.2.1. Declaración de datos	25
I.3.2.2. Literales	29
I.3.2.3. Datos constantes	30
I.3.2.4. Codificando con estilo	35
I.4. Operadores y expresiones	37
I.4.1. Expresiones	37
I.4.2. Terminología en Matemáticas	39
I.4.3. Operadores en Programación	40
I.5. Tipos de datos simples en C++	42
I.5.1. Los tipos de datos enteros	43
I.5.1.1. Representación de los enteros	43
I.5.1.2. Rango de los enteros	44
I.5.1.3. Literales enteros	45
I.5.1.4. Operadores	46
I.5.1.5. Expresiones enteras	48
I.5.2. Los tipos de datos reales	50
I.5.2.1. Literales reales	50
I.5.2.2. Representación de los reales	51

1.5.2.3.	Rango y Precisión	53
1.5.2.4.	Operadores	56
1.5.2.5.	Funciones estándar	57
1.5.2.6.	Expresiones reales	58
1.5.3.	Operando con tipos numéricos distintos	60
1.5.3.1.	Asignaciones a datos de expresiones de distinto tipo	60
1.5.3.2.	Expresiones con datos numéricos de distinto tipo	64
1.5.3.3.	El operador de casting (Ampliación)	69
1.5.4.	El tipo de dato carácter	71
1.5.4.1.	Rango	71
1.5.4.2.	Literales de carácter	74
1.5.4.3.	Funciones estándar y operadores	76
1.5.5.	El tipo de dato cadena de caracteres	77
1.5.6.	El tipo de dato lógico o booleano	81
1.5.6.1.	Rango	81
1.5.6.2.	Funciones standard y operadores lógicos	81
1.5.6.3.	Operadores Relacionales	84
1.5.7.	Lectura de varios datos	87
1.6.	El principio de una única vez	92
II.	Estructuras de Control	97

II.1.	Estructura condicional	98
II.1.1.	Flujo de control	98
II.1.2.	Estructura condicional simple	102
II.1.2.1.	Formato	102
II.1.2.2.	Diagrama de Flujo	105
II.1.2.3.	Cuestión de estilo	107
II.1.2.4.	Condiciones compuestas	109
II.1.2.5.	Estructuras condicionales consecutivas	110
II.1.3.	Estructura condicional doble	114
II.1.3.1.	Formato	114
II.1.3.2.	Variables no asignadas en los condicionales	119
II.1.3.3.	Condiciones mutuamente excluyentes	121
II.1.3.4.	Estructuras condicionales dobles consecutivas	124
II.1.4.	Andamamiento de estructuras condicionales	128
II.1.5.	Estructura condicional múltiple	143
II.1.6.	Programando como profesionales	146
II.1.6.1.	Diseño de algoritmos fácilmente extensibles	146
II.1.6.2.	Descripción de un algoritmo	154
II.1.6.3.	Las expresiones lógicas y el principio de una única vez	158
II.1.6.4.	Separación de entradas/salidas y cálculos	164

II.1.6.5. El tipo enumerado y los condicionales . . .	171	II.2.4. Andamiento de bucles . . . . .	224
II.1.6.6. Simplificación de expresiones compuestas: Álgebra de Boole . . . . .	178	II.3. Particularidades de C++ . . . . .	232
II.1.7. Algunas cuestiones sobre condicionales . . . . .	182	II.3.1. Expresiones y sentencias son similares . . . . .	232
II.1.7.1. Cuidado con la comparación entre reales . .	182	II.3.1.1. El tipo <code>bool</code> como un tipo entero . . . . .	232
II.1.7.2. Evaluación en ciclo corto y en ciclo largo . .	184	II.3.1.2. El operador de asignación en expresiones .	234
II.2. Estructuras repetitivas . . . . .	185	II.3.1.3. El operador de igualdad en sentencias . . .	235
II.2.1. Bucles controlados por condición: pre-test y post-test	185	II.3.1.4. El operador de incremento en expresiones .	236
II.2.1.1. Formato . . . . .	185	II.3.2. El bucle <code>for</code> en C++ . . . . .	238
II.2.1.2. Algunos usos de los bucles . . . . .	188	II.3.2.1. Bucles <code>for</code> con cuerpo vacío . . . . .	238
II.2.1.3. Bucles con lectura de datos . . . . .	194	II.3.2.2. Bucles <code>for</code> con sentencias de incremento incorrectas . . . . .	238
II.2.1.4. Bucles sin fin . . . . .	199	II.3.2.3. Modificación del contador . . . . .	239
II.2.2. Programando como profesionales . . . . .	201	II.3.2.4. El bucle <code>for</code> como ciclo controlado por condición . . . . .	240
II.2.2.1. Condiciones compuestas . . . . .	201	II.3.3. Otras (perniciosas) estructuras de control . . . . .	248
II.2.2.2. Bucles que buscan . . . . .	205		
II.2.2.3. Evaluación de expresiones dentro y fuera del bucle . . . . .	208		
II.2.2.4. Bucles que no terminan todas sus tareas . .	210		
II.2.2.5. Estilo de codificación . . . . .	214		
II.2.3. Bucles controlador por contador . . . . .	215		
II.2.3.1. Motivación . . . . .	215		
II.2.3.2. Formato . . . . .	217		



## I.1.2. Datos y Algoritmos

**Algoritmo (Algorithm)** : es una secuencia ordenada de instrucciones que resuelve un problema concreto, atendiendo a las siguientes características:

### ► Características básicas:

- ▷ Corrección (sin errores).
- ▷ Precisión (no puede haber ambigüedad).
- ▷ Repetitividad (en las mismas condiciones, al ejecutarlo, siempre se obtiene el mismo resultado).

### ► Características esenciales:

- ▷ Finitud (termina en algún momento). Número finito de órdenes no implica finitud.
- ▷ Validez (resuelve el problema pedido)
- ▷ Eficiencia (lo hace en un tiempo aceptable)

---

Un **dato (data)** es una representación simbólica de una característica o propiedad de una entidad.

Los algoritmos operan sobre los datos. Usualmente, reciben unos **datos de entrada** con los que operan, y a veces, calculan unos nuevos **datos de salida**.

**Ejemplo.** Algoritmo de la media aritmética de N valores.

- ▷ **Datos de entrada:** valor1, valor2, ..., valorN
- ▷ **Datos de salida:** media
- ▷ **Instrucciones en lenguaje natural:**  
Sumar los N valores y dividir el resultado por N

**Ejemplo.** Algoritmo para la resolución de una ecuación de primer grado  
 $ax + b = 0$

- ▷ **Datos de entrada:**  $a, b$
- ▷ **Datos de salida:**  $x$
- ▷ **Instrucciones en lenguaje natural:**  
Calcular  $x$  como el resultado de la división  $-b/a$

Podría mejorarse el algoritmo contemplando el caso de ecuaciones degeneradas, es decir, con  $a$  o  $b$  igual a cero

**Ejemplo.** Algoritmo para el cálculo de la hipotenusa de un triángulo rectángulo.

- ▷ **Datos de entrada:** lado1, lado2
- ▷ **Datos de salida:** hipotenusa
- ▷ **Instrucciones en lenguaje natural:**

$$\text{hipotenusa} = \sqrt{\text{lado1}^2 + \text{lado2}^2}$$

**Ejemplo.** Algoritmo para ordenar un vector (lista) de valores numéricos.

(9, 8, 1, 6, 10, 4)  $\longrightarrow$  (1, 4, 6, 8, 9, 10)

▷ **Datos de entrada:** el vector

▷ **Datos de salida:** el mismo vector

▷ **Instrucciones en lenguaje natural:**

- Calcular el mínimo valor de todo el vector
- Intercambiarlo con la primera posición
- Volver a hacer lo mismo con el vector formado por todas las componentes menos la primera.

(9, 8, 1, 6, 10, 4)  $\rightarrow$

(1, 8, 9, 6, 10, 4)  $\rightarrow$

(X, 8, 9, 6, 10, 4)  $\rightarrow$

(X, 4, 9, 6, 10, 8)  $\rightarrow$

(X, X, 9, 6, 10, 8)  $\rightarrow$

...

**Instrucciones no válidas en un algoritmo:**

- Calcular un valor *bastante* pequeño en todo el vector
- Intercambiarlo con el que está en una posición *adecuada*
- Volver a hacer lo mismo con el vector formado por *la mayor parte* de las componentes.

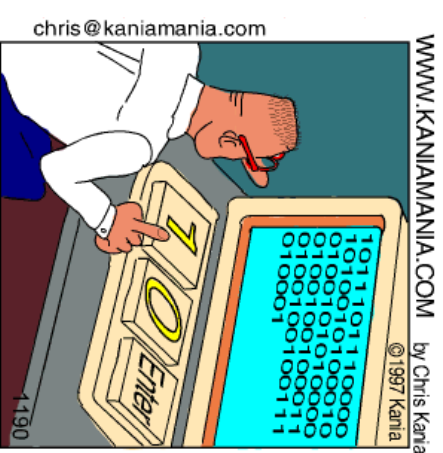
Una vez diseñado el algoritmo, debemos escribir las órdenes que lo constituyen en un lenguaje que entienda el ordenador.

*"First, solve the problem. Then, write the code".*



## I.1.3. Lenguajes de programación

**Código binario (Binary code) :**



*"There are 10 types of people in the world, those who can read binary, and those who can't".*





**Lenguaje de programación (Programming language)** : Lenguaje formal utilizado para comunicarnos con un ordenador e imponerle la ejecución de un conjunto de órdenes.

▷ **Lenguaje ensamblador (Assembly language)** . Depende del microprocesador (Intel 8086, Motorola 88000, etc) Se usa para programar drivers, microcontroladores (que son circuitos integrados que agrupan microprocesador, memoria y periféricos), compiladores, etc. Se ve en otras asignaturas.

```
.model small
.stack
.data
Cadena1 DB 'Hola Mundo.$'
.code
mov ax, @data
mov ds, ax
mov dx, offset Cadena1
mov ah, 9
int 21h
end
```

▷ **Lenguajes de alto nivel (High level language)** (C, C++, Java, Lisp, Prolog, Perl, Visual Basic, C#, Go ...) En esta asignatura usaremos C++1114 (ISO C++).

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    cout << "Hola Mundo";
}
```

## Reseña histórica del lenguaje C++:

- 1967 Martin Richards: BCPL para escribir S.O.
- 1970 Ken Thompson: B para escribir UNIX (inicial)
- 1972 Dennis Ritchie: C
- 1983 Comité Técnico X3J11: ANSI C
- 1983 Bjarne Stroustrup: C++
- 1989 Comité técnico X3J16: ANSI C++
- 1990 Internacional Standardization Organization <http://www.iso.org>
- Comité técnico JTC1: Information Technology
- Subcomité SC-22: Programming languages, their environments and system software interfaces.
- Working Group 21: C++
- <http://www.open-std.org/jtc1/sc22/wg21/>

- 2011 Revisión del estándar con importantes cambios.
- 2014 Última revisión del estándar con cambios menores.
- 2017? Actualmente en desarrollo la siguiente versión C++ 17.
- ¿Qué programas se han hecho en C++?

Google, Amazon, sistema de reservas aéreas (Amadeus), omnipresente en la industria automovilística y aérea, sistemas de telecomunicaciones, el explorador Mars Rover, el proyecto de secuenciación del genoma humano, videojuegos como Doom, Warcraft, Age of Empires, Halo, la mayor parte del software de Microsoft y una gran parte del de Apple, la máquina virtual Java, Photoshop, Thunderbird y Firefox, MySQL, OpenOffice, etc.

**Implementación de un algoritmo (Algorithm implementation)** : Transcripción de un algoritmo a un lenguaje de programación.

**Ejemplo.** Implementación del algoritmo para el cálculo de la media de 4 valores en C++:

```
suma = valor1 + valor2 + valor3 + valor4;  
media = suma / 4;
```

**Ejemplo.** Implementación del algoritmo para el cálculo de la hipotenusa:

```
hipotenusa = sqrt(lado1*lado1 + lado2*lado2);
```

**Ejemplo.** Implementación del algoritmo para la ordenación de un vector.

```
for (izda = 1; izda < total_utilizados; izda++){  
    a_desplazar = vector[izda];  
  
    for (i = izda; i>0 && a_desplazar < vector[i-1]; i--)  
        vector[i] = vector[i-1];  
  
    vector[i] = a_desplazar;  
}
```

Estas instrucciones se escriben en un fichero de texto normal. Al código escrito en un lenguaje concreto se le denomina *código fuente (source code)*. En C++ llevan la extensión .cpp.

Para que las instrucciones anteriores puedan ejecutarse correctamente, debemos especificar dentro del código fuente los datos con los que vamos a trabajar, incluir ciertos recursos externos, etc. Todo ello constituye un programa:

Un *programa (program)* es un conjunto de instrucciones especificadas en un lenguaje de programación concreto, que pueden ejecutarse en un ordenador.

**Ejemplo.** Programa para calcular la hipotenusa de un triángulo rectángulo.

Pitagoras.cpp

```
/*  
Programa simple para el cálculo de la hipotenusa  
de un triángulo rectángulo, aplicando el teorema de Pitágoras  
*/  
  
#include <iostream> // Inclusión de recursos de E/S  
#include <cmath> // Inclusión de recursos matemáticos  
using namespace std;  
  
int main(){  
    // Programa Principal  
    double lado1; // Declara variables para guardar  
    double lado2; // los dos lados y la hipotenusa  
    double hipotenusa;  
  
    cout << "Introduzca la longitud del primer cateto: ";  
    cin >> lado1;  
    cout << "Introduzca la longitud del segundo cateto: ";  
    cin >> lado2;  
  
    hipotenusa = sqrt(lado1*lado1 + lado2*lado2);  
  
    cout << "\nLa hipotenusa vale " << hipotenusa;  
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I\\_Pitagoras.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I_Pitagoras.cpp)

La **programación (programming)** es el proceso de diseñar, codificar (implementar), depurar y mantener un programa.

Un programa incluirá la implementación de uno o más algoritmos.

**Ejemplo.** Programa para dibujar planos de pisos.

Utilizará algoritmos para dibujar cuadrados, de medias aritméticas, salidas gráficas en plotter, etc.

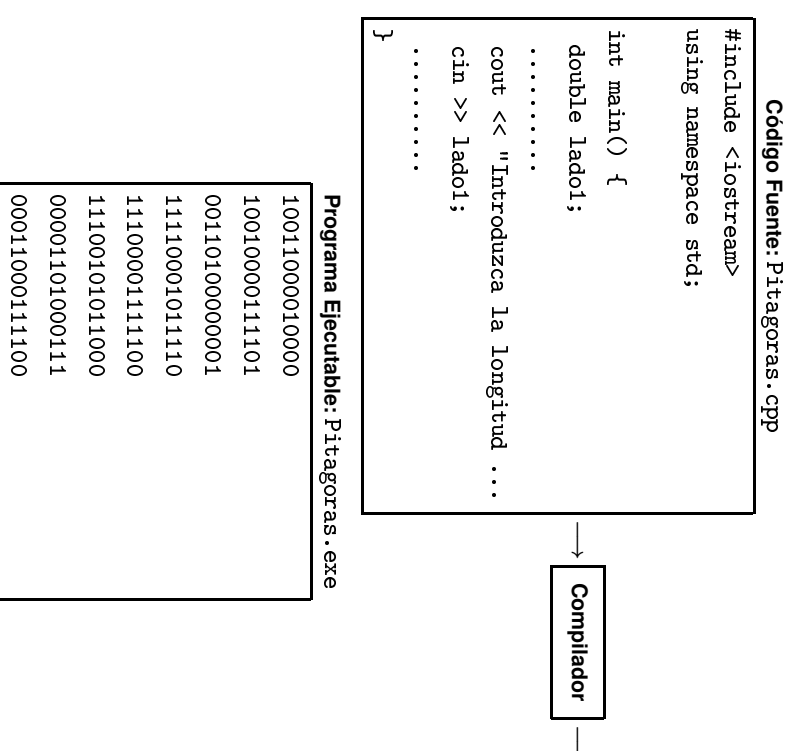
Muchos de los programas que se verán en FP implementarán un único algoritmo.

## I.1.4. Compilación

Para obtener el programa ejecutable (el fichero en binario que puede ejecutarse en un ordenador) se utiliza un **compilador (compiler)** :



La extensión en Windows de los programas ejecutables es .exe



## 1.2. Especificación de programas

En este apartado se introducen los conceptos básicos involucrados en la construcción de un programa. Se introducen términos que posteriormente se verán con más detalle.

### 1.2.1. Organización de un programa

- ▷ Los programas en C++ pueden dividirse en varios ficheros aunque por ahora vamos a suponer que cada programa está escrito en un único fichero (Pitagoras.cpp).
- ▷ Se pueden incluir comentarios en lenguaje natural.

```
/* Comentario partido en
varias líneas */
// Comentario en una sola línea
```

El texto de un comentario no es procesado por el compilador.

- ▷ Al principio del fichero se indica que vamos a usar una serie de recursos definidos en un fichero externo o *biblioteca (library)*

```
#include <iostream>
#include <cmath>
```

También aparece

```
using namespace std;
```

La finalidad de esta declaración se verá posteriormente.

- ▷ A continuación aparece `int main(){` que indica que comienza el programa principal. Éste se extiende desde la llave abierta `{`, hasta encontrar la correspondiente llave cerrada `}`.
- ▷ Dentro del programa principal van las sentencias. Una *sentencia*

(*sentence/statement*) es una parte del código fuente que el compilador traduce en una instrucción en código binario. Ésta van obligatoriamente separadas por punto y coma ; Y se van ejecutando secuencialmente de arriba abajo. En el tema II se verá como realzar *salto*s, es decir, interrumpir la estructura secuencial.

- ▷ Cuando llega a la llave cerrada `}` correspondiente a `main()`, y si no han aparecido problemas, el programa termina de ejecutarse y el Sistema Operativo libera los recursos asignados a dicho programa.

Veamos algunos tipos de sentencias usuales:

- ▷ *Sentencias de declaración de datos*

Un *dato (data)* es una unidad de información que representamos en el ordenador (longitud del lado de un triángulo rectángulo, longitud de la hipotenusa, nombre de una persona, número de habitantes, el número  $\pi$ , etc)

El compilador ofrece distintos *tipos de datos (data types)*, como enteros (`int`), reales (`double`), caracteres (`char`), etc. En una sentencia de *declaración (declaration)*, el programador indica el nombre o *identificador (identifier)* que usará para referirse a un dato concreto y establece su tipo de dato, el cual no se podrá cambiar posteriormente.

Cada dato que se desee usar en un programa debe declararse previamente. Por ahora, lo haremos al principio (después de `main`),

```
double lado1;
double lado2;
double hipotenusa;
```

Declara tres datos de tipo real que el programador puede usar en el programa.

▷ **Sentencias de asignación**

A los datos se les asigna un **valor (value)** a través del denominado **operador de asignación (assignment operator)** = (no confundir con la igualdad en Matemáticas)

```
lado1 = 7;
lado2 = 5;
hipotenusa = sqrt(lado1*lado1 + lado2*lado2);
```

Asigna 7 a lado1, 5 a lado2 y asigna al dato hipotenusa el resultado de evaluar lo que aparece a la derecha de la asignación. Se ha usado el **operador (operator)** de multiplicación (\*), el operador de suma (+) y la **función (function)** raíz cuadrada (sqrt). Posteriormente se verá con más detalle el uso de operadores y funciones.

Podremos cambiar el valor de los datos tantas veces como queramos.

```
lado1 = 7; // lado1 contiene 7
lado1 = 8; // lado1 contiene 8. Se pierde el antiguo valor (7)
```

▷ **Sentencias de entrada de datos**

¿Y si queremos asignarle a lado1 un valor introducido por el usuario del programa?

Las sentencias de **entrada de datos (data input)** permiten leer valores desde el dispositivo de entrada establecido por defecto. Por ahora, será el teclado (también podrá ser un fichero, por ejemplo). Se construyen usando cin, que es un recurso externo incluido en la biblioteca iostream.

```
cin >> dato;
```

Por ejemplo, al ejecutarse la sentencia

```
cin >> lado1;
```

el programa espera a que el usuario introduzca un valor real (double) desde el teclado (dispositivo de entrada) y, cuando se pul-

sa la tecla Intro, lo almacena en el dato lado1 (si la entrada es desde un fichero, no hay que introducir Intro). Conforme se va escribiendo el valor, éste se muestra en pantalla, incluyendo el salto de línea.

*La lectura de datos con cin puede considerarse como una asignación en tiempo de ejecución*

▷ **Sentencias de salida de datos**

Por otra parte, las sentencias de **salida de datos (data output)** permiten escribir mensajes y los valores de los datos en el dispositivo de salida establecido por defecto. Por ahora, será la pantalla (podrá ser también un fichero). Se construyen usando cout, que es un recurso externo incluido en la biblioteca iostream.

```
cout << "Este texto se muestra tal cual " << dato;
```

– Lo que haya dentro de un par de comillas dobles se muestra tal cual, excepto los caracteres precedidos de \. Por ejemplo, \n hace que el cursor salte al principio de la línea siguiente.

```
cout << "Bienvenido. Salto a la siguiente línea ->\n";
cout << "\n<- Empiezo en una nueva línea.";
```

– Los números se escriben tal cual (decimales con punto)

```
cout << 3.1415927;
```

– Si ponemos un dato, se imprime su contenido.

```
cout << hipotenusa;
```

Podemos usar una única sentencia:

```
cout << "\nla hipotenusa vale " << hipotenusa;
```

Realmente, hay que **anteponer el *espacio de nombres (namespace)*** `std` en la llamada a `cout` y `cin`:

```
std::cout << variable;
```

Al haber incluido `using namespace std;` al inicio del programa, ya no es necesario. Los namespaces sirven para organizar los recursos (funciones, clases, etc) ofrecidos por el compilador o contruidos por nosotros. La idea es similar a la estructura en carpetas de los ficheros de un sistema operativo. En FP no los usaremos.

Estructura básica de un programa (los corchetes delimitan secciones opcionales):

```
[/ * Breve descripción en lenguaje natural
de lo que hace el programa */]
[ Inclusión de recursos externos ]
[ using namespace std; ]
int main(){
    [ Declaración de datos ]
    [ Sentencias del programa separadas por ; ]
}
```

## 1.2.2. Elementos básicos de un lenguaje de programación

### 1.2.2.1. Tokens y reglas sintácticas

A la hora de escribir un programa, cada lenguaje de programación tiene una sintaxis propia que debe respetarse. Ésta queda definida por:

- a) Los *componentes léxicos (tokens)* . Formados por caracteres alfanuméricos y/o simbólicos. Representan la unidad léxica mínima que el lenguaje entiende.

```
main ; ( == = hipotenusa * /*
```

Pero por ejemplo, ni i ni ((\* ni / \* son tokens válidos.

- b) *Reglas sintácticas (Syntactic rules)* : determinan cómo han de combinarse los tokens para formar sentencias. Algunas se especifican con tokens especiales (formados usualmente por símbolos):

- Separador de sentencias ;
  - Para agrupar varias sentencias se usa { }
  - Se verá su uso en el tema II. Por ahora, sirve para agrupar las sentencias que hay en el programa principal
  - Para agrupar expresiones (fórmulas) se usa ( )
- ```
sqrt( (lado1*lado1) + (lado2*lado2) );
```



1.2.2.2. Palabras reservadas

Suelen ser tokens formados por caracteres alfabéticos. Tienen un significado específico para el compilador, y por tanto, el programador no puede definir datos con el mismo identificador.

Algunos usos:

- ▷ `main` (formalmente, `main` no es una palabra reservada, pero a efectos prácticos, así lo consideraremos)
- ▷ Para definir tipos de datos como por ejemplo `double`
- ▷ Para establecer el *flujo de control* (*control flow*), es decir, para especificar el orden en el que se han de ejecutar las sentencias, como `if`, `while`, `for` etc.  
Estos se verán en el tema II.

Palabras reservadas comunes a C (C89) y C++

|                       |                     |                       |                     |                       |                       |                      |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| <code>auto</code>     | <code>break</code>  | <code>case</code>     | <code>char</code>   | <code>const</code>    | <code>continue</code> | <code>default</code> |
| <code>do</code>       | <code>double</code> | <code>else</code>     | <code>enum</code>   | <code>extern</code>   | <code>float</code>    | <code>for</code>     |
| <code>goto</code>     | <code>if</code>     | <code>int</code>      | <code>long</code>   | <code>register</code> | <code>return</code>   | <code>short</code>   |
| <code>signed</code>   | <code>sizeof</code> | <code>static</code>   | <code>struct</code> | <code>switch</code>   | <code>typedef</code>  | <code>union</code>   |
| <code>unsigned</code> | <code>void</code>   | <code>volatile</code> | <code>while</code>  |                       |                       |                      |

Palabras reservadas adicionales de C++

|                               |                          |                         |                      |                           |                        |                     |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|------------------------|---------------------|
| <code>and</code>              | <code>and_eq</code>      | <code>asm</code>        | <code>bitand</code>  | <code>bitor</code>        | <code>bool</code>      | <code>catch</code>  |
| <code>class</code>            | <code>compl</code>       | <code>const_cast</code> | <code>delete</code>  | <code>dynamic_cast</code> | <code>explicit</code>  | <code>export</code> |
| <code>false</code>            | <code>friend</code>      | <code>inline</code>     | <code>mutable</code> | <code>namespace</code>    | <code>new</code>       | <code>not</code>    |
| <code>not_eq</code>           | <code>operator</code>    | <code>or</code>         | <code>or_eq</code>   | <code>private</code>      | <code>protected</code> | <code>public</code> |
| <code>reinterpret_cast</code> | <code>static_cast</code> | <code>template</code>   | <code>this</code>    | <code>throw</code>        | <code>true</code>      | <code>try</code>    |
| <code>typeid</code>           | <code>typename</code>    | <code>using</code>      | <code>virtual</code> | <code>wchar_t</code>      | <code>xor</code>       | <code>xor_eq</code> |

1.2.3. Tipos de errores en la programación

- ▷ *Errores en tiempo de compilación* (*Compilation error*)  
Ocasionalmente por un fallo de sintaxis en el código fuente. No se genera el programa ejecutable.

```
/* CONTIENE ERRORES */
#include <iostream>

using namespace std;

int main(){
    double main;
    double lado1;
    double lado 2,
    double hipotenusa;

    2 = lado1;
    lado1 = 2
    hipotenusa = sqrt(lado1*lado1 + lado2*lado2);
    cout << "La hipotenusa vale << hipotenusa;
}
```

*"Software and cathedrals are much the same. First we build them, then we pray".*



#### ▷ **Errores en tiempo de ejecución (Execution error)**

Se ha generado el programa ejecutable, pero se produce un error durante la ejecución.

```
int dato_entero;
int otra_variable;
```

```
dato_entero = 0;
otra_variable = 7 / dato_entero;
```



#### ▷ **Errores lógicos (Logic errors)**

Se ha generado el programa ejecutable, pero el programa ofrece una solución equivocada.

```
.....
lado1 = 4;
lado2 = 9;
hipotenusa = sqrt(lado1+lado1 + lado2*lado2);
.....
```

## 1.2.4. Cuidando la presentación

Además de generar un programa sin errores, debemos asegurar que:

- ▷ El código fuente sea fácil de leer por otro programador.
- ▷ El programa sea fácil de manejar por el usuario.

### 1.2.4.1. Escritura de código fuente

A lo largo de la asignatura veremos normas que tendremos que seguir para que el código fuente que escribamos sea fácil de leer por otro programador. Debemos usar espacios y líneas en blanco para separar tokens y grupos de sentencias. El compilador ignora estos separadores pero ayudan en la lectura del código fuente.

*Para hacer más legible el código fuente, usaremos separadores como el espacio en blanco, el tabulador y el retorno de carro*

Este código fuente genera el mismo programa que el de la página 10 pero es mucho más difícil de leer.

```
#include<iostream>#include<cmath>using namespace std;
int main(){
    double lado1;double lado2;
    double hipotenusa;
    cout<<"Introduzca la longitud del primer cateto: ";
    cin>>lado1;
    cout<<"Introduzca la longitud del segundo cateto: ";cin>>lado2;
    hipotenusa=sqrt(lado1*lado1+lado2*lado2);
    cout<<"\nla hipotenusa vale "<<hipotenusa;
}
```





1.2.4.2. Etiquetado de las Entradas/Salidas

Es importante dar un formato adecuado a la salida de datos en pantalla.  
El usuario del programa debe entender claramente el significado de todas sus salidas.

```
totalVentas = 45;
numeroVentas = 78;
cout << totalVentas << numeroVentas; // Imprime 4578
```



```
cout << "\nSuma total de ventas = " << totalVentas;
cout << "\nNúmero total de ventas = " << numeroVentas;
```

Las entradas de datos también deben etiquetarse adecuadamente:

```
cin >> lado1;
cin >> lado2;
```

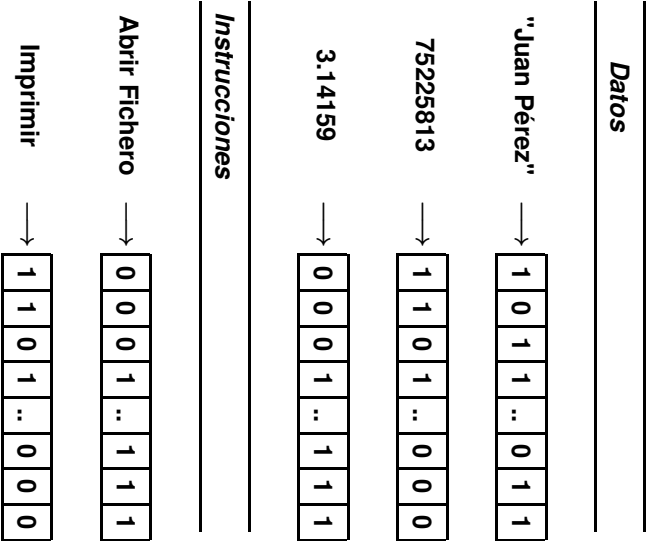


```
cout << "Introduzca la longitud del primer cateto: ";
cin >> lado1;
cout << "Introduzca la longitud del segundo cateto: ";
cin >> lado2;
```

1.3. Datos y tipos de datos

1.3.1. Representación en memoria de datos e instrucciones

Tanto las instrucciones como los datos son combinaciones adecuadas de 0 y 1.



Nos centramos en los datos.

## I.3.2. Datos y tipos de datos

### I.3.2.1. Declaración de datos

Al trabajar con un lenguaje de alto nivel, no haremos referencia a la secuencia de 0 y 1 que codifican un valor concreto, sino a lo que representa para nosotros.

Nombre de empleado: Juan Pérez

Número de habitantes : 75225813

$\pi$  : 3.14159

Un programa necesitará representar información de diverso tipo (cadenas de caracteres, enteros, reales, etc) Cada lenguaje de programación ofrece sus propios tipos de datos, denominados *tipos de datos primitivos* (*primitive data types*) . Por ejemplo, en C++: `string`, `int`, `double`, etc. Además, el programador podrá crear sus propios tipos usando otros recursos, como por ejemplo, las *clases* (ver tema III).

**Declaración de un dato (*data declaration*)** : Es la sentencia en la que se asigna un nombre a un dato y se le asocia un tipo de dato. El valor que se le puede asignar a un dato depende del tipo de dato con el que es declarado.

Cuando se declara un dato de un tipo primitivo, el compilador reserva una zona de memoria para trabajar con ella. Ningún otro dato podrá usar dicha zona.

```
string nombre_empleado;  
int    numero_habitantes;  
double Pi;
```

```
nombre_empleado = "Pedro Ramírez";  
nombre_empleado = "Juan Pérez";    // Se pierde el antiguo  
nombre_empleado = 37;              // Error de compilación  
numero_habitantes = "75225";       // Error de compilación  
numero_habitantes = 75225;  
Pi = 3.14156;  
Pi = 3.1415927;                    // Se pierde el antiguo
```

nombre\_empleado

numero\_habitantes

Pi

Juan Pérez

75225

3.1415927

Podemos declarar varias variables de un mismo tipo en la misma línea. Basta separarlas con coma:

```
double lado1, lado2, hipotenusa;
```

Opcionalmente, se puede dar un valor inicial durante la declaración.

```
<tipo> <identificador> = <valor_inicial>;
```

```
double dato = 4.5;
```

equivale a:

```
double dato;  
dato = 4.5;
```

Cada dato necesita un identificador único. Un identificador de un dato es un token formado por caracteres alfanuméricos con las siguientes restricciones:

- ▷ Debe empezar por una letra o subrayado (`_`)
- ▷ No pueden contener espacios en blanco ni ciertos caracteres especiales como letras acentuadas, la letra ñ, las barras `\` o `/`, etc.  
 Ejemplo: `lado1` `lado2` `precio_con_IVA`
- ▷ El compilador determina la máxima longitud que pueden tener (por ejemplo, 31 caracteres)
- ▷ Sensible a mayúsculas y minúsculas.  
 Lado y Lado son dos identificadores distintos.
- ▷ No se podrá dar a un dato el nombre de una palabra reservada. No es recomendable usar el nombre de algún identificador usado en las *bibliotecas estándar* (por ejemplo, `cout`)

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
    double cout; // Error de sintaxis
    double main; // Error de sintaxis
```

**Ejercicio.** Determinar cuáles de los siguientes son identificadores válidos. Si son inválidos explicar por qué.

- a) `registro1`   b) `1registro`   c) `archivo_3`   d) `main`  
 e) nombre y dirección   f) dirección   g) diseño

Quando se declara un dato y no se inicializa, éste no tiene ningún valor asignado *por defecto*. El valor almacenado es *indeterminado* y puede variar de una ejecución a otra del programa. Lo representaremos gráficamente por ?

**Ejemplo.** Calculad la cuantía de la retención a aplicar sobre el sueldo de un empleado, sabiendo el porcentaje de ésta.

```
/*
 * Programa para calcular la retención a aplicar en
 * el sueldo de un empleado
 */
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
int main(){
    double salario_bruto; // Salario bruto, en euros
    double retencion;    // Retención a aplicar, en euros
```

| salario_bruto | retencion |
|---------------|-----------|
| ?             | ?         |

```
cout << "Introduzca salario bruto: ";
cin >> salario_bruto; // El usuario introduce 32538

retencion = salario_bruto * 0.18;
cout << "\nRetención a aplicar: " << retencion;
}
```

| salario_bruto | retencion |
|---------------|-----------|
| 32538.0       | 4229.94   |

Un error **lógico** muy común es usar un dato no asignado:

```
int main(){  
    double salario_bruto; // Salario bruto, en euros  
    double retencion;     // Retención a aplicar, en euros  
  
    retencion = salario_bruto * 0.18; // salario_bruto indeterminado  
  
    cout << "Retención a aplicar: " << retencion;  
}
```



Imprimirá un valor indeterminado.

### 1.3.2.2. Literales

Un **literal (literal)** es la especificación de un valor concreto de un tipo de dato. Dependiendo del tipo, tenemos:

- ▷ **Literales numéricos (numeric literals)** : son tokens numéricos. Para representar datos reales, se usa el punto  para especificar la parte decimal:  
2    3    3.1415927
- ▷ **Literales de cadenas de caracteres (string literals)** : Son cero o más caracteres encerrados entre comillas dobles:  
"Juan Pérez"
- ▷ **Literales de otros tipos, como literales de caracteres (character literals)** 'a', **Literales lógicos (boolean literals)** true, etc.

### 1.3.2.3. Datos constantes

Podríamos estar interesados en usar datos a los que sólo permitimos tomar un único valor, fijado de antemano. Es posible con una **constante (constant)** . Se declaran como sigue:

```
const <tipo> <identif> = <expresión>;
```

- ▷ A los datos no constantes se les denomina **variables (variables)** .
- ▷ A las constantes se les aplica las mismas consideraciones que hemos visto sobre tipo de dato y reserva de memoria.
- ▷ Los identificadores de las constantes suelen ser sólo en mayúsculas para diferenciarlos de las variables.

**Ejemplo.** Calculad la longitud de una circunferencia y el área de un círculo, sabiendo su radio.

```
/*  
 Programa que pide el radio de una circunferencia  
 e imprime su longitud y el área del círculo  
*/  
#include <iostream>  
using namespace std;  
  
int main() {  
    const double PI = 3.1416;  
    double area, radio, longitud;
```

```
// PI = 3.15;    <- Error de compilación
```



```
    cout << "Introduzca el valor del radio ";  
    cin >> radio;  
  
    area = PI * radio * radio;  
    longitud = 2 * PI * radio;  
  
    cout << "\nEl área del círculo es: " << area;  
    cout << "\nLa longitud de la circunferencia es: " << longitud;  
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I\\_circunferencia.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I_circunferencia.cpp)

**Comparar el anterior código con el siguiente:**

```
.....  
area = 3.1416 * radio * radio;  
longitud = 2 * 3.1416 * radio;
```



**Ventajas al usar constantes:**

▷ El nombre dado a la constante (PI) proporciona más información al programador y hace que el código sea más legible.

Esta ventaja podría haberse conseguido usando un dato variable, pero entonces podría cambiarse su valor por error dentro del código. Al ser constante, su modificación no es posible.

▷ Código menos propenso a errores. Para cambiar el valor de PI (a 3.1415927, por ejemplo), sólo hay que modificar la línea de la declaración de la constante.

Si hubiésemos usado literales, tendríamos que haber recurrido a un cut-paste, muy propenso a errores.

*Fomentaremos el uso de datos constantes en vez de literales para representar toda aquella información que sea constante durante la ejecución del programa.*

**Ejercicio.** Modificad el ejemplo de la página 28 introduciendo una constante que contenga el valor del porcentaje de la retención (0.18).

```
/*
Programa para calcular la retención a aplicar en
el sueldo de un empleado
*/
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    const double PORCENTAJE_RETENCION = 0.18; // Porcentaje de retención
    double retencion; // Retención a aplicar, en euros
    double salario_bruto; // Salario bruto, en euros

    salario_bruto PORCENTAJE_RETENCION retencion
    ? 0.18 ?

    cout << "Introduzca salario bruto: ";
    cin >> salario_bruto;

    retencion = salario_bruto * PORCENTAJE_RETENCION;

    cout << "\nRetención a aplicar: " << retencion;
}

salario_bruto PORCENTAJE_RETENCION retencion
32538.0 0.18 4229.94
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I\\_retencion.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I_retencion.cpp)

Una sintaxis de programa algo más completa:

```
[ /* Breve descripción en lenguaje natural
de lo que hace el programa */ ]

[ Inclusión de recursos externos ]
[ using namespace std; ]

int main(){
    [ Declaración de constantes]
    [ Declaración de variables]

    [ Sentencias del programa separadas por ;]
}
```

#### 1.3.2.4. Codificando con estilo

- ▷ El identificador de un dato debe reflejar su semántica (contenido). Por eso, salvo excepciones (como las variables contadoras de los bucles -tema II-) no utilizaremos nombres con pocos caracteres

😊 `v, l1, l2, lp`

😊 `voltaje, lado1, lado2, hipotenusa`

- ▷ No utilizaremos nombres genéricos

😊 `aux, vector1`

😊 `copia, calificaciones`

- ▷ Usaremos minúsculas para los datos variables. Las constantes se escribirán en mayúsculas. Los nombres compuestos se separarán con subrayado \_:

😊 `precioventapublico, tasaanual`

😊 `precio_venta_publico, tasa_anual`

- ▷ No se nombrarán dos datos con identificadores que difieran únicamente en la capitalización, o un sólo carácter.

😊 `cuenta, cuentas, Cuenta`

😊 `cuenta, coleccion_cuentas, cuenta_ppal`

Hay una excepción a esta norma. Cuando veamos las clases, podremos definir una clase con el nombre Cuenta y una instancia de dicha clase con el nombre cuenta.

- ▷ Cuando veamos clases, funciones y métodos, éstos se escribirán con la primera letra en mayúscula. Los nombres compuestos se separarán con una mayúscula.

😊 `Clase CuentaBancaria, Método Ingresar`

**En el examen, se baja puntos por no seguir las anteriores normas.**



## I.4. Operadores y expresiones

### I.4.1. Expresiones

Una *expresión* (*expression*) es una combinación de datos y operadores sintácticamente correcta, que devuelve un valor. El caso más sencillo de expresión es un literal o un dato:

```
3
3 + 5
lado1
```

La aplicación de un operador sobre uno o varios datos es una expresión:

```
lado1 * lado1
lado2 * lado2
```

En general, los operadores y funciones se aplican sobre expresiones y el resultado es una expresión:

```
lado1 * lado1 + lado2 * lado2
sqrt(lado1 * lado1 + lado2 * lado2)
```

Una expresión NO es una sentencia de un programa:

```
▷ Expresión: sqrt(lado1*lado1 + lado2*lado2)
▷ Sentencia: hipotenusa = sqrt(lado1*lado1 + lado2*lado2);
```

Las expresiones pueden aparecer a la derecha de una asignación, pero no a la izquierda.

```
3 + 5 = lado1; // Error de compilación
```

Todo aquello que puede aparecer a la izquierda de una asignación se conoce como *l-value* (left) y a la derecha *r-value* (right)

Cuando el compilador evalúa una expresión, devuelve un valor de un tipo de dato (entero, real, carácter, etc.). Diremos que la expresión es de dicho tipo de dato. Por ejemplo:

3 + 5 es una expresión entera

3.5 + 6.7 es una expresión de reales

Cuando se usa una expresión dentro de `cout`, el compilador detecta el tipo de dato resultante y la imprime de forma adecuada.

```
cout << "\nResultado = " << 3 + 5;
cout << "\nResultado = " << 3.5 + 6.7;
```

Imprime en pantalla:

```
Resultado = 8
Resultado = 10.2
```

A lo largo del curso justificaremos que es mejor no incluir expresiones dentro de las instrucciones `cout` (más detalles en la página 95). Mejor guardamos el resultado de la expresión en una variable y mostramos la variable:

```
suma = 3.5 + 6.7;
cout << "\nResultado = " << suma;
```

**Evita la evaluación de expresiones en una instrucción de salida de datos. Éstas deben limitarse a imprimir mensajes y el contenido de las variables.**



## I.4.2. Terminología en Matemáticas

Notaciones usadas con los operadores matemáticos:

- ▷ **Notación prefija (Prefix notation)** . El operador va antes de los argumentos. Estos suelen encerrarse entre paréntesis.  
 $\text{seno}(3)$  ,  $\text{tangente}(x)$  ,  $\text{media}(\text{valor1}, \text{valor2})$
- ▷ **Notación infija (Infix notation)** . El operador va entre los argumentos.  
 $3+5$        $x/y$

Según el número de argumentos, diremos que un operador es:

- ▷ **Operador unario (Unary operator)** . Sólo tiene un argumento:  
 $\text{seno}(3)$  ,  $\text{tangente}(x)$
- ▷ **Operador binario (Binary operator)** . Tienes dos argumentos:  
 $\text{media}(\text{valor1}, \text{valor2})$        $3+5$        $x/y$
- ▷ **Operador n-ario (n-ary operator)** . Tiene más de dos argumentos.

## I.4.3. Operadores en Programación

Los lenguajes de programación proporcionan operadores que permiten manipular los datos.

- ▷ Se denotan a través de tokens alfanuméricos o simbólicos.
- ▷ Suelen devolver un valor.

### **Tipos de operadores:**

- ▷ Los definidos en el núcleo del compilador.  
No hay que incluir ninguna biblioteca  
Suelen usarse tokens simbólicos para su representación. Ejemplos:  
 $+$  (suma),  $-$  (resta),  $*$  (producto), etc.  
Los operadores binarios suelen ser infijos:  
 $3 + 5$   
 $\text{lado} * \text{lado}$

- ▷ Los definidos en bibliotecas externas.  
Por ejemplo, `cmath`  
Suelen usarse tokens alfanuméricos para su representación. Ejemplos:  
`sqrt` (raíz cuadrada), `sin` (seno), `pow` (potencia), etc.  
Suelen ser prefijos. Si hay varios argumentos se separan por una coma.

```
sqrt(4.2)
sin(6.4)
pow(3, 6)
```

Tradicionalmente se usa el término *operador (operator)* a secas para denotar los primeros, y el término *función (function)* para los segundos.

A los argumentos de las funciones se les denomina *parámetros (parameter)*.

Una misma variable puede aparecer a la derecha y a la izquierda de una asignación:

```
double dato;  
  
dato = 4;           // dato contiene 4  
dato = dato + 3;    // dato contiene 7
```

*En una sentencia de asignación*

*variable = <expresión>*

*primero se evalúa la expresión que aparece a la derecha y luego se realiza la asignación.*

**Ejercicio.** Construid un programa en C++ para que lea desde teclado un valor de aceleración y masa de un objeto y calcule la fuerza correspondiente según la segunda ley de Newton:

$$F = m * a$$

## 1.5. Tipos de datos simples en C++

El comportamiento de un tipo de dato viene dado por:

- ▷ El *rango (range)* de valores que puede representar, que depende de la cantidad de memoria que dedique el compilador a su representación interna. Intuitivamente, cuanto más memoria se dedique para un tipo de dato, mayor será el número de valores que podremos representar.
- ▷ El conjunto de operadores que pueden aplicarse a los datos de ese tipo.

*A lo largo de este tema se verán operadores y funciones aplicables a los distintos tipos de datos. No es necesario aprenderse el nombre de todos ellos pero sí saber cómo se usan.*

## I.5.1. Los tipos de datos enteros

### I.5.1.1. Representación de los enteros

*Propiedad fundamental:* Cualquier entero puede descomponerse como la suma de determinadas potencias de 2.

$$53 = 0 * 2^{15} + 0 * 2^{14} + 0 * 2^{13} + 0 * 2^{12} + 0 * 2^{11} + 0 * 2^{10} + 0 * 2^9 + 0 * 2^8 + 0 * 2^7 + 0 * 2^6 + 1 * 2^5 + 1 * 2^4 + 0 * 2^3 + 1 * 2^2 + 0 * 2^1 + 1 * 2^0$$

La representación en binario sería la secuencia de los factores (1,0) que acompañan a las potencias:

0000000000110101

- ▷ Dos elementos a combinar: 1, 0
- ▷  $r$  posiciones. Por ejemplo,  $r = 16$
- ▷ Se permiten repeticiones e importa el orden  
0000000000110101  $\neq$  0000000000110110
- ▷ Número de datos distintos representables  $= 2^r$

Se conoce como *bit* a la aparición de un valor 0 o 1. Un *byte* es una secuencia de 8 bits.

Esta representación de un entero es válida en cualquier lenguaje de programación.

### I.5.1.2. Rango de los enteros

El rango de un *entero (integer)* es un subconjunto del conjunto matemático  $\mathbb{Z}$ . La cardinalidad dependerá del número de bits ( $r$ ) que cada compilador utiliza para su almacenamiento.

Los compiladores suelen ofrecer distintos tipos enteros. En C++: `short`, `int`, `long`, etc. El más usado es `int`.

El estándar de C++ no obliga a los compiladores a usar un tamaño determinado.

Lo usual es que un `int` ocupe 32 bits. El rango sería:

$$\left[ -\frac{2^{32}}{2}, \frac{2^{32}}{2} - 1 \right] = [-2147483648, 2147483647]$$

```
int entero;  
entero = 53;
```

Cuando necesitemos un entero mayor, podemos usar el tipo `long long int`. También puede usarse la forma abreviada del nombre: `long long`. Es un entero de 64 bits y es estándar en C++ 11. El rango sería:

$$[-9223372036854775808, 9223372036854775807]$$

Algunos compiladores ofrecen tipos propios. Por ejemplo, Visual C++ ofrece `__int64`.

1.5.1.3. Literales enteros

Como ya vimos en la página 29, un literal es la especificación (dentro del código fuente) de un valor concreto de un tipo de dato. Los *literales enteros (integer literals)* se construyen con tokens formados por símbolos numéricos. Pueden empezar con un signo -

53            -406778            0

*Nota.* En el código se usa el sistema decimal (53) pero internamente, el ordenador usa el código binario (000000000110101)

Para representar un literal entero, el compilador usará el tipo `int`. Si es un literal que no cabe en un `int`, se usará otro tipo entero mayor.

1.5.1.4. Operadores

Operadores binarios

+    -    \*    /    %

suma, resta, producto, división entera y módulo.  
El operador módulo (%) representa el resto de la división entera  
Devuelven un entero.  
Binarios. Notación infija: a\*b

```
int n;
n = 5 * 7;      // Asigna a la variable n el valor 35
n = n + 1;      // Asigna a la variable n el valor 36
n = 25 / 9;     // Asigna a la variable n el valor 2
n = 25 % 9;     // Asigna a la variable n el valor 7
n = 5 / 7;      // Asigna a la variable n el valor 0
n = 7 / 5;      // Asigna a la variable n el valor 1
n = 173 / 10;   // Asigna a la variable n el valor 17
n = 5 % 7;      // Asigna a la variable n el valor 5
n = 7 % 5;      // Asigna a la variable n el valor 2
n = 173 % 10;   // Asigna a la variable n el valor 3
5 / 7 = n;      // Sentencia Incorrecta.
```

Operaciones usuales:

- ▷ Extraer el dígito menos significativo: 5734 % 10 → 4
- ▷ Truncar desde el dígito menos significativo: 5734 / 10 → 573

## Operadores unarios de incremento y decremento

`++` y `--` Unarios de notación postfija.

Incrementan y decrementan, respectivamente, el valor de la variable entera sobre la que se aplican (no pueden aplicarse sobre una expresión).

```
<variable>++; /* Incrementa la variable en 1
               Es equivalente a:
               <variable> = <variable> + 1; */
<variable>--; /* Decrementa la variable en 1
               Es equivalente a:
               <variable> = <variable> - 1; */
```

También existe una versión prefija de estos operadores. Lo veremos en el siguiente tema y analizaremos en qué se diferencian.

```
int dato = 4;
dato = dato+1; // Asigna 5 a dato
dato++;       // Asigna 6 a dato
```

## Operador unario de cambio de signo

- Unario de notación prefija.

Cambia el signo de la variable sobre la que se aplica.

```
int dato = 4, dato_cambiado;
dato_cambiado = -dato; // Asigna -4 a dato_cambiado
dato_cambiado = -dato_cambiado; // Asigna 4 a dato_cambiado
```

## 1.5.1.5. Expresiones enteras

Son aquellas expresiones, que al evaluarlas, devuelven un valor entero.

```
entera 56 (entera/4 + 56)%3
```

El orden de evaluación depende de la *precedencia* de los operadores.

Reglas de precedencia:

```
()
- (operador unario de cambio de signo)
* / %
+ -
```

Cualquier operador de una fila superior tiene más prioridad que cualquiera de la fila inferior.

```
variable = 3 + 5 * 7; // equivale a 3 + (5 * 7)
```

Los operadores de una misma fila tienen la misma prioridad. En este caso, para determinar el orden de evaluación se recurre a otro criterio, denominado *asociatividad* (*associativity*). Puede ser de izquierda a derecha (LR) o de derecha a izquierda (RL).

```
variable = 3 / 5 * 7; // / y * tienen la misma precedencia.
// Asociatividad LR. Equivale a (3/5)*7
variable = - -5; // Asociatividad RL. Equivale a - (-5)
```

Ante la duda, forzar la evaluación deseada mediante la utilización de paréntesis:

```
dato = 3 + (5 * 7); // 38
dato = (3 + 5) * 7; // 56
```

**Ejercicio.** Teniendo en cuenta el orden de precedencia de los operadores, indicad el orden en el que se evaluarían las siguientes expresiones:

- a)  $a + b * c - d$       b)  $a * b / c$       c)  $a * c \% b - d$

**Ejercicio.** Leed un entero desde teclado que represente número de segundos y calcule el número de minutos que hay en dicha cantidad y el número de segundos restantes. Por ejemplo, en 123 segundos hay 2 minutos y 3 segundos.

```
int salario, num_bill500;
salario = 43000;
num_bill500 = (salario + 100) / 500; // ok
num_bill500 = salario + 100 / 500; // Error lógico
```

**Ejemplo.** Incrementar el salario en 100 euros y calcular el número de billetes de 500 euros a usar en el pago de dicho salario.

## 1.5.2. Los tipos de datos reales

Un dato de tipo *real (float)* tiene como rango un subconjunto *finito* de  $\mathbb{R}$

▷ Parte entera de 4,56 → 4

▷ Parte real de 4,56 → 56

C++ ofrece distintos tipos para representar valores reales. Principalmente, `float` (usualmente 32 bits) y `double` (usualmente 64 bits).

```
double valor_real;
valor_real = 541.341;
```

### 1.5.2.1. Literales reales

Son tokens formados por dígitos numéricos y con un único punto que separa la parte decimal de la real. Pueden llevar el signo - al principio.

```
800.457      4.0      -3444.5
```

**Importante:**

▷ El literal 3 es un entero.

▷ El literal 3.0 es un real.

Los compiladores suelen usar el tipo `double` para representar literales reales.

También se puede utilizar *notación científica (scientific notation)* :

5.32e+5 representa el número  $5,32 * 10^5 = 532000$

42.9e-2 representa el número  $42,9 * 10^{-2} = 0,429$

## 1.5.2.2. Representación de los reales

¿Cómo podría el ordenador representar 541,341?

Lo fácil sería:

- ▷ Representar la parte entera 541 en binario
- ▷ Representar la parte real 341 en binario

De esa forma, con 64 bits (32 bits para cada parte) podríamos representar:

- ▷ Partes enteras en el rango  $[-2147483648, 2147483647]$
- ▷ Partes reales en el rango  $[-2147483648, 2147483647]$

Sin embargo, la forma usual de representación no es así. Se utiliza la representación en *coma flotante (floating point)*. La idea es representar un valor y la escala. En aritmética decimal, la escala se mide con potencias de 10:

42,001 → valor = 4,2001 escala = 10  
 42001 → valor = 4,2001 escala =  $10^4$   
 0,42001 → valor = 4,2001 escala =  $10^{-1}$

El valor se denomina *mantisa (mantissa)* y el coeficiente de la escala *exponente (exponent)*.

En la representación en coma flotante, la escala es 2. A *grosso modo* se utilizan  $m$  bits para la mantisa y  $n$  bits para el exponente. La forma explícita de representación en binario se verá en otras asignaturas. Basta saber que utiliza potencias inversas de 2. Por ejemplo, **1011** representaría

$$1 * \frac{1}{2^1} + 0 * \frac{1}{2^2} + 1 * \frac{1}{2^3} + 1 * \frac{1}{2^4} =$$

$$= 1 * \frac{1}{2} + 0 * \frac{1}{4} + 1 * \frac{1}{8} + 1 * \frac{1}{16} = 0,6875$$

**Problema:** Si bien un entero se puede representar de forma exacta como suma de potencias de dos, un real sólo se puede *aproximar* con suma de potencias inversas de dos.

Valores tan sencillos como 0,1 o 0,01 no se pueden representar de forma exacta, produciéndose un error de *redondeo (rounding)*

$$0,1 \approx 1 * \frac{1}{2^4} + 0 * \frac{1}{2^5} + 0 * \frac{1}{2^6} + 0 * \frac{1}{2^7} + 0 * \frac{1}{2^8} + \dots$$

Por tanto:

**¡Todas las operaciones realizadas con los reales pueden devolver valores que sólo sean aproximados!**



**Especial cuidado tendremos con operaciones del tipo**

Repite varias veces

Ir sumándole a una variable\_real varios valores reales;

ya que los errores de aproximación se irán acumulando.



### 1.5.2.3. Rango y Precisión

La codificación en coma flotante separa el valor de la escala. Esto permite trabajar (en un mismo tipo de dato) con magnitudes muy grandes y muy pequeñas.

```
double masa_tierra_kg, masa_electron_kg;

masa_tierra_kg = 5.98e24;           // ok
masa_electron_kg = 9.11e-31;        // ok
```

**C++ ofrece varios tipos reales: float y double (y long double a partir de C++11). Con 64 bits, pueden representarse exponentes hasta  $\pm 308$ .**

Pero el precio a pagar es muy elevado ya que se obtiene muy poca *precisión (precision)* (número de dígitos consecutivos que pueden representarse) tanto en la parte entera como en la parte real.

| Tipo   | Tamaño  | Rango           | Precisión                  |
|--------|---------|-----------------|----------------------------|
| float  | 4 bytes | +/-3.4 e +/-38  | 7 dígitos aproximadamente  |
| double | 8 bytes | +/-1.7 e +/-308 | 15 dígitos aproximadamente |

```
double valor_real;
```

```
// Datos de tipo double con menos de 15 cifras
// (en su representación decimal)
```

valor\_real = 11.0;  
// Almarena: 11.0

Correcto 😊

```
valor_real = 1.1;
// Almacedna: 1.1000000000000000001
```

Problema de redondeo

```
// Datos de tipo double con más de 15 cifras
// (en su representación decimal)
```

[illegible]

`val real = 0.100000000000000000009;`

```
// Almacena: 0.100000000000000001      Problema de precisión
```

`valor_real = 1.000000000000000000000009;`

```
// Almacena: 1.0
Problema de precisión
```

valor\_real = 1000000000001.000000000000004; 😊

```
// Almacena: 10000000001.0
Problema de precisión
```



**En resumen:**

▷ Los tipos **enteros** representan datos enteros de forma exacta, siempre que el valor esté en el rango correspondiente.

▷ Los tipos **reales** representan la **parte entera** de forma exacta si el número de dígitos es menor o igual que 7 -16 bits- o 15 -32 bits-.

La representación es aproximada si el número de dígitos es mayor.

La **parte real** será sólo aproximada.

Los reales en coma flotante también permiten representar valores especiales como **infinito (infinity)** y una **indeterminación (undefined)** (*Not a Number*)

Representaremos infinito por `INF` y la indeterminación por `NaN`, pero hay que destacar que no son literales que puedan usarse en el código.

Las operaciones numéricas con infinito son las usuales en Matemáticas (`1.0/INF` es cero, por ejemplo) mientras que cualquier expresión que involucre `NaN`, produce otro `NaN`:

```
double valor_real, divisor = 0.0;

valor_real = 17.5 / divisor;           // Almacena INF
valor_real = 1.5 / valor_real;         // Almacena 0.0
valor_real = divisor / divisor;        // Almacena NaN
valor_real = 1.5 / valor_real;         // Almacena NaN
valor_real = 1e+300;                   // Almacena NaN
valor_real = valor_real * valor_real;   // Almacena INF
valor_real = 1.0 / valor_real;         // Almacena 0.0
```

**1.5.2.4. Operadores**

Los operadores matemáticos usuales también se aplican sobre datos reales:

`+`, `-`, `*`, `/`

Binarios, de notación infija. También se puede usar el operador unario de cambio de signo (`-`). Aplicados sobre reales, devuelven un real.

```
double real;
real = 5.0 * 7.0;           // Asigna a real el valor 35.0
real = 5.0 / 7.0;           // Asigna a real el valor 0.7142857
```

**¡Cuidado!** El comportamiento del operador `/` depende del tipo de los operandos: si todos son enteros, es la división entera. Si todos son reales, es la división real.

```
5 / 7      es una expresión entera. Resultado = 0
5.0 / 7.0  es una expresión real. Resultado = 0.7142857
```

**Si un argumento es entero y el otro real, la división es real.**

```
5 / 7.0    es una expresión real. Resultado = 0.7142857
```

### 1.5.2.5. Funciones estándar

Hay algunas bibliotecas *estándar* que proporcionan funciones que trabajan sobre datos numéricos (enteros o reales) y que suelen devolver un real. Por ejemplo, `cmath`

```
pow(), cos(), sin(), sqrt(), tan(), log(), log10(), ....
```

Todos los anteriores son unarios excepto `pow`, que es binario (base, exponente). Devuelven un real.

Para calcular el valor absoluto se usa la función `abs()`. Devuelve un tipo real (aún cuando el argumento sea entero).

```
#include<iostream>
#include <cmath>
```

```
using namespace std;
```

```
int main(){
    double real, otro_real;
```

```
    real      = 5.4;
    otro_real = abs(-5.4);
    otro_real = abs(-5);
    otro_real = sqrt(real);
    otro_real = pow(4.3, real);
}
```

#### Nota:

Observad que una misma función (`abs` por ejemplo) puede trabajar con datos de distinto tipo. Esto es posible porque hay varias sobrecargas de esta función. Posteriormente se verá con más detalle este concepto.

### 1.5.2.6. Expresiones reales

Son expresiones cuyo resultado es un número real.

`sqrt(real)` es una expresión real


`pow(4.3, real)` es una expresión real

En general, diremos que las *expresiones aritméticas (arithmetic expression)* o *numéricas* son las expresiones o bien enteras o bien reales.

Precedencia de operadores en las expresiones reales:

```
()
- (operador unario de cambio de signo)
* /
+ -
```

**Consejo:** Para facilitar la lectura de las fórmulas matemáticas, evitad el uso de paréntesis cuando esté claro cuál es la precedencia de cada operador.



**Ejemplo.** Construid una expresión para calcular la siguiente fórmula:

$$\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

|                                                       |                 |
|-------------------------------------------------------|-----------------|
| <code>-b+sqrt(b*b-4.0*a*c)/2.0*a</code>               | Error lógico    |
| <code>((-b)+(sqrt((b*b) - (4.0*a)*c)))/(2.0*a)</code> | Difícil de leer |
| <code>(-b + sqrt(b*b - 4.0*a*c)) / (2.0*a)</code>     | Correcto        |

**Ejercicio.** Construid un programa para calcular la posición de un objeto que sigue un movimiento rectilíneo uniforme. La posición se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$x_o + vt$$

dónde  $x_0$  es la posición inicial,  $v$  la velocidad y  $t$  el tiempo transcurrido.

Suponed que los tres datos son reales.

**Ejercicio.** Construid una expresión para calcular la distancia euclídea entre dos puntos del plano  $P1 = (x_1, y_1)$ ,  $P2 = (x_2, y_2)$ . Usad las funciones

`sqr t` y `pow`.

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

## 1.5.3. Operando con tipos numéricos distintos

### 1.5.3.1. Asignaciones a datos de expresiones de distinto tipo

El operador de asignación permite trabajar con tipos distintos en la parte izquierda y derecha.

En primer lugar se evalúa la parte derecha de la asignación.

En segundo lugar, se realiza la asignación. Si el tipo del resultado obtenido en la parte derecha de la asignación es distinto al del dato de la parte izquierda, el compilador realiza una *transformación de tipo (casting)* de la expresión de la derecha al tipo de dato de la parte izquierda de la asignación.

Esta transformación es temporal (mientras se evalúa la expresión)

Si el resultado de la expresión no cabe en la parte izquierda, se produce un error lógico denominado *desbordamiento aritmético (arithmetic overflow)*. El valor asignado será un valor indeterminado.

## Veamos varios casos:

▷ Como cabría esperar, a un dato numérico de tipo *grande* se le puede asignar cualquier expresión numérica de tipo *pequeño*.

```
int chico;  
long long grande;
```

```
// grande = chico; Sin problemas.
```

```
chico = 5; // 5 es un literal int
          // int = int
```

```
grande = chico; // chico int -> chico long long
                // long long = long long
cout << chico; // chico sigue siendo int
```



**La transformación de int a long long es inmediata:**

[illegible]

5 Long Long:

[illegible]

**Otro ejemplo:**

```
double real;
int entero;
```

```
entero = 5;
real = entero;
cout << entero;

// 5 int -> 5 double
// double = double
// entero sigue siendo int
// Imprime 5 y no 5.0
```

▷ En general, a un dato numérico de tipo *pequeño* se le puede asignar cualquier expresión numérica de tipo *grande*. Si el resultado está en el rango permitido del tipo pequeño, la asignación se realiza correctamente. En otro caso, se produce un desbordamiento aritmético y se almacenará un valor indeterminado.

```
int chico;
long long grande;
```

```
// chico = grande; Puede desbordarse.
```

```
grande = 6000000; // 6000000 es un literal int
```

```
// 6000000 int -> 6000000 long long
// long long = long long
```

```
chico = grande; // grande long long -> grande int int
// El resultado 6000000 cabe en chico
// int = int
```



grande = 360000000000000;

```
// 3600000000000000 es un literal long long
// long long = long long
```

```
chico = grande; // 3600000000000000 no cabe en un int
// Desbordamiento.
```



```
// chico = -415875072
// int = int
```

▷ A un entero se le puede asignar una expresión real. En este caso, se pierde la parte decimal, es decir, se *trunca* la expresión real.

```
double real;  
int entero;  
  
real = 5.3;           // 5.3 es un literal double  
                     // double = double  
  
// entero = real; Se trunca el real  
  
entero = real;        // real double (5.3) -> real int (5)  
                     // int = int
```

**A un dato numérico se le puede asignar una expresión de un tipo distinto. Si el resultado cabe, no hay problema. En otro caso, se produce un desbordamiento aritmético.**

**Si asignamos una expresión real a un entero, se trunca la parte decimal.**

### 1.5.3.2. Expresiones con datos numéricos de distinto tipo

Muchos operadores numéricos permiten que los argumentos sean expresiones de tipos distintos. Para evaluar el resultado de una expresión que contenga datos con tipos distintos, el compilador realiza un casting para que todos sean del mismo tipo y así poder hacer las operaciones.

Los datos de tipo pequeño se transformarán al mayor tipo de los otros datos de la expresión.

Esta transformación es temporal (mientras se evalúa la expresión)

**Ejemplo.** Calcular la cuantía de las ventas totales de un producto a partir de su precio y del número de unidades vendidas.

```
int unidades_vendidas;  
double precio_unidad, venta_total;  
  
.....  
cin >> precio_unidad;  
cin >> unidades_vendidas;  
  
venta_total = precio_unidad * unidades_vendidas;  
           // double      * int  
           // unidades_vendidas int -> double  
           // double      * double  
           // El resultado de la expresión es double  
           // double = double
```

Si en una expresión todos los datos son del mismo tipo, el compilador no realiza casting.

**Ejemplo.** Calcular la media aritmética de la edades de dos personas.

```
int edad1 = 10, edad2 = 5;  
double media;
```

```
media = (edad1 + edad2)/2; // media = 7.0
```



La expresión `edad1 + edad2` es entera y devuelve 15. Por tanto, los dos operandos de la expresión `(edad1 + edad2)/2` son enteros, por lo que el operador de división actúa sobre enteros y es la división entera, devolviendo el entero 7. Al asignarlo a la variable real `media`, se transforma en 7.0. Se ha producido un error lógico.

Posibles soluciones (de peor a mejor)

▷ Usar un dato temporal de un tipo mayor.

```
int edad1 = 10, edad2 = 5;  
double media, edad1_tmp;
```

```
edad1_tmp = edad1;  
media      = (edad1_tmp + edad2)/2;  
           // double + int es double  
           // double / int es double  
           // media = 7.5
```

El inconveniente de esta solución es que estamos representando un mismo dato con dos variables distintas y corremos el peligro de usarlas en sitios distintos.

▷ Cambiar el tipo de dato original de las variables.

```
double edad1 = 10, edad2 = 5;  
double media;
```

```
media = (edad1 + edad2)/2;  
       // double + double es double  
       // double / int es double  
       // media = 7.5
```

Debemos evitar esta solución ya que el tipo de dato asociado a las variables debe depender de la semántica de éstas. En cualquier caso, cabe la posibilidad de reconsiderar la decisión con respecto a los tipos asociados y cambiarlos si la semántica de las variables así lo demanda. No es el caso de nuestras variables de edad, que son enteras.

▷ Usar un casting manual tal y como se indica en la sección 1.5.3.3 (página 69)

▷ Forzamos la división real introduciendo un literal real:

```
int edad1 = 10, edad2 = 5;  
double media;
```

```
media = (edad1 + edad2)/2.0;  
       // int + int es int  
       // int / double es double  
       // media = 7.5
```



### Ejemplo. ¿Qué pasaría en este código?

```
int chico = 1234567890;
long long grande;

grande = chico * chico;

// grande = 304084036      Error lógico 😊
```

En la expresión `chico * chico` todos los datos son del mismo tipo (`int`). Por tanto no se produce casting y el resultado se almacena en un `int`. La multiplicación correcta es 1524157875019052100 pero no cabe en un `int`, por lo que se produce un desbordamiento aritmético y a la variable grande se le asigna un valor indeterminado (304084036)

Observad que el resultado (1524157875019052100) sí cabe en un `long long` pero el desbordamiento se produce durante la evaluación de la expresión, **antes** de realizar la asignación (recordad lo visto en la página 41)

Posibles soluciones: Las mismas que vimos en el ejemplo anterior (las tres primeras, porque no hay literales involucrados en la expresión)

---

#### Nota:

El desbordamiento como tal no ocurre con los reales ya que una operación que de un resultado fuera de rango devuelve infinito (INF)

```
double real, otro_real;

real = 1e+200;
otro_real = real * real;
// otro_real = INF
```

---

*Durante la evaluación de una expresión numérica en la que intervienen datos de distinto tipo, el compilador realizará un casting para transformar los datos de tipos pequeños al mayor de los tipos involucrados.*

*Esta transformación es temporal (sólo se aplica mientras se evalúa la expresión).*

*Pero cuidado: si en una expresión todos los datos son del mismo tipo, el compilador no realiza ninguna transformación, de forma que la expresión resultante es del mismo tipo que la de los datos involucrados. Por tanto, cabe la posibilidad que se produzca un desbordamiento durante la evaluación de la expresión.*



### 1.5.3.3. El operador de casting (Ampliación)

Este apartado es de ampliación. No entra en el examen.

El *operador de casting* (*casting operator*) permite que el programador pueda cambiar explícitamente el tipo por defecto de una expresión. La transformación es siempre temporal: sólo afecta a la instrucción en la que aparece el casting.

```
static_cast<tipo_de_dato> (expresión)
```

#### Ejemplo. Media aritmética:

```
int edad1 = 10, edad2 = 5;  
double media;
```

```
media = (static_cast<double>(edad1) + edad2)/2;
```



#### Ejemplo. Retomamos el ejemplo de la página 67:

```
int chico = 1234567890;  
long long grande;
```

```
grande = static_cast<long long>(chico) * chico;
```



```
// chico int -> chico long long  
// long long * int  
// grande = 1524157875019052100
```

```
// chico sigue siendo int después de la instrucción anterior
```

### ¿Por qué no es correcto lo siguiente?

```
int chico = 1234567890;  
long long grande;
```

```
grande = static_cast<long long> (chico * chico);  
// grande = 304084036
```



En C, hay otro operador de casting que realiza una función análoga a `static_cast`:

`<<tipo de dato>> expresión`

```
int edad1 = 10, edad2 = 5;  
double media;  
media = ((double)edad1 + edad2)/2;
```



1.5.4. El tipo de dato carácter

1.5.4.1. Rango

Frecuentemente, querremos manejar información que podemos representar con un único carácter. Por ejemplo, grupo de teoría de una asignatura, carácter a leer desde el teclado para seleccionar una opción de un menú, calificación obtenida (según la escala ECTS), tipo de moneda, etc.

Los caracteres que pueden usarse son los permitidos en la plataforma en la que se ejecuta el programa. Para representar dichos caracteres se pueden usar distintos tipos de *codificación (coding)* . El estándar aceptado actualmente es *Unicode* (multi-lenguaje, multi-plataforma). Éste establece los caracteres que pueden representarse (incluye caracteres de idiomas como español, chino, árabe, etc), cómo hacerlo (permite tres tamaños distintos: 8, 16 y 32 bits) y asigna un número de orden a cada uno de ellos.

Los primeros 256 caracteres de Unicode coinciden con la codificación antigua denominada *ASCII Extendido (Extended ASCII)* . De éstos, los primeros 32 no son imprimibles. Los caracteres con acentos especiales usados en Europa Occidental (incluida España) están incluidos en el ASCII extendido.

|    |       |    |       |    |   |     |       |     |   |     |   |     |   |     |   |
|----|-------|----|-------|----|---|-----|-------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
| 0  | <NUL> | 32 | <SPC> | 64 | @ | 96  | '     | 128 | À | 160 | + | 192 | ¿ | 224 | ± |
| 1  | <SOH> | 33 | !     | 65 | A | 97  | a     | 129 | Á | 161 | o | 193 | ¡ | 225 | . |
| 2  | <STX> | 34 | "     | 66 | B | 98  | b     | 130 | Â | 162 | ó | 194 | í | 226 | , |
| 3  | <ETX> | 35 | #     | 67 | C | 99  | c     | 131 | Ã | 163 | ô | 195 | ï | 227 | ' |
| 4  | <EOT> | 36 | \$    | 68 | D | 100 | d     | 132 | Ä | 164 | é | 196 | ü | 228 | " |
| 5  | <ENQ> | 37 | %     | 69 | E | 101 | e     | 133 | Å | 165 | • | 197 | ≈ | 229 | ° |
| 6  | <ACK> | 38 | &     | 70 | F | 102 | f     | 134 | Ä | 166 | ¶ | 198 | ≠ | 230 | À |
| 7  | <BEL> | 39 | '     | 71 | G | 103 | g     | 135 | Å | 167 | ß | 199 | « | 231 | Á |
| 8  | <BS>  | 40 | (     | 72 | H | 104 | h     | 136 | ä | 168 | @ | 200 | » | 232 | Ê |
| 9  | <TAB> | 41 | )     | 73 | I | 105 | i     | 137 | å | 169 | © | 201 | … | 233 | Ë |
| 10 | <LF>  | 42 | *     | 74 | J | 106 | j     | 138 | ä | 170 | ™ | 202 | … | 234 | Ì |
| 11 | <VT>  | 43 | +     | 75 | K | 107 | k     | 139 | å | 171 | • | 203 | À | 235 | Í |
| 12 | <FF>  | 44 | ,     | 76 | L | 108 | l     | 140 | ä | 172 | • | 204 | Ä | 236 | Î |
| 13 | <CR>  | 45 | -     | 77 | M | 109 | m     | 141 | ç | 173 | # | 205 | Ö | 237 | Ï |
| 14 | <SO>  | 46 | .     | 78 | N | 110 | n     | 142 | è | 174 | Æ | 206 | ƒ | 238 | Ò |
| 15 | <SI>  | 47 | /     | 79 | O | 111 | o     | 143 | é | 175 | Ø | 207 | œ | 239 | Ó |
| 16 | <DL>  | 48 | 0     | 80 | P | 112 | p     | 144 | ê | 176 | ∞ | 208 | — | 240 | • |
| 17 | <DC1> | 49 | 1     | 81 | Q | 113 | q     | 145 | ë | 177 | ± | 209 | — | 241 | Ò |
| 18 | <DC2> | 50 | 2     | 82 | R | 114 | r     | 146 | ƒ | 178 | ≤ | 210 | “ | 242 | Û |
| 19 | <DC3> | 51 | 3     | 83 | S | 115 | s     | 147 | í | 179 | ≥ | 211 | ” | 243 | Ü |
| 20 | <DC4> | 52 | 4     | 84 | T | 116 | t     | 148 | î | 180 | ¥ | 212 | ‘ | 244 | Ù |
| 21 | <NAK> | 53 | 5     | 85 | U | 117 | u     | 149 | ï | 181 | µ | 213 | ’ | 245 | Ú |
| 22 | <SYN> | 54 | 6     | 86 | V | 118 | v     | 150 | ñ | 182 | ð | 214 | ÷ | 246 | Û |
| 23 | <ETB> | 55 | 7     | 87 | W | 119 | w     | 151 | ó | 183 | Σ | 215 | × | 247 | — |
| 24 | <CAN> | 56 | 8     | 88 | X | 120 | x     | 152 | ô | 184 | Π | 216 | ÿ | 248 | — |
| 25 | <EM>  | 57 | 9     | 89 | Y | 121 | y     | 153 | ö | 185 | η | 217 | ÿ | 249 | — |
| 26 | <SUB> | 58 | :     | 90 | Z | 122 | z     | 154 | ö | 186 | ƒ | 218 | / | 250 | — |
| 27 | <ESC> | 59 | ;     | 91 | [ | 123 | {     | 155 | ó | 187 | ß | 219 | € | 251 | — |
| 28 | <FS>  | 60 | <     | 92 | \ | 124 |       | 156 | ù | 188 | o | 220 | < | 252 | — |
| 29 | <GS>  | 61 | =     | 93 | ] | 125 | }     | 157 | ú | 189 | Ω | 221 | > | 253 | — |
| 30 | <RS>  | 62 | >     | 94 | ^ | 126 | ~     | 158 | û | 190 | æ | 222 | ñ | 254 | — |
| 31 | <US>  | 63 | ?     | 95 | _ | 127 | <DEL> | 159 | ü | 191 | ø | 223 | ñ | 255 | — |

C++ permite asignar a cualquier entero uno de estos caracteres, encerrándolo entre comillas simples. El valor que el entero almacena es el número de orden de dicho carácter en la tabla.

```
int letra_piso;
long entero_grande;

letra_piso = 65; // Almacena 65
letra_piso = 'A'; // Almacena 65
entero_grande = 65; // Almacena 65
entero_grande = 'A'; // Almacena 65
```

Si nos restringimos a los 256 primeros caracteres, sólo necesitamos 1 byte para representarlo. Por eso, C++ ofrece el tipo de dato `char`:

El tipo de dato `char` es un entero pequeño sin signo con rango {0...255}

```
char letra_piso;

letra_piso = 65;    // Almacena 65
letra_piso = 'A';   // Almacena 65
```

Además, el recurso `cout` se ha programado de la siguiente forma:

- ▷ Si se pasa a `cout` un dato de tipo `char`, imprime el carácter correspondiente al entero almacenado.
- ▷ Si se pasa a `cout` un dato de tipo entero (distinto a `char`), imprime el entero almacenado.

```
int entero = 'A';
char letra = 'A';

cout << entero;    // Imprime 65
cout << letra;     // Imprime A
```

1.5.4.2. Literales de carácter

Son tokens formados por:

- ▷ Un único carácter encerrado entre comillas simples: `'i'`, `'A'`, `'a'`, `'5'`, `'ñ'`

Observad que `'5'` es un literal de carácter y `5` es un literal entero ¡Cuidado!: `'cinco'` o `'11'` no son literales de carácter.

Observad la diferencia:

```
double r;
char letra;

letra = 'r';    // literal de carácter 'r'
r = 23.2;       // variable real r
```

- ▷ O bien una *secuencia de escape*, es decir, el símbolo `\` seguido de otro símbolo, como por ejemplo:

| Secuencia       | Significado                    |
|-----------------|--------------------------------|
| <code>\n</code> | Nueva línea (retorno e inicio) |
| <code>\t</code> | Tabulador                      |
| <code>\b</code> | Retrocede 1 carácter           |
| <code>\r</code> | Retorno de carro               |
| <code>\f</code> | Salto de página                |
| <code>\'</code> | Comilla simple                 |
| <code>\"</code> | Comilla doble                  |
| <code>\\</code> | Barra inclinada                |

Las secuencias de escape también deben ir entre comillas simples, por ejemplo, `'\n'`, `'\t'`, etc.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    const char NUEVA_LINEA = '\n';
    char letra_piso;

    letra_piso = 'B';    // Almacena 66 ('B')
    cout << letra_piso << "ienvenidos";
    cout << '\n' << "Empiezo a escribir en la siguiente línea";
    cout << '\n' << '\t' << "Acabo de tabular esta línea";
    cout << NUEVA_LINEA;

    cout << '\n' << "Esto es una comilla simple: " << '\'';
}
```

### Escribiría en pantalla:

Bienvenidos  
Empiezo a escribir en la siguiente línea  
Acabo de tabular esta línea  
  
Esto es una comilla simple: ' '

### Ampliación:

Para escribir un retorno de carro, también puede usarse una constante llamada `endl` en la forma:

```
cout << endl << "Adiós" << endl
```

Esta constante, además, obliga a vaciar el buffer de datos en ese mismo momento, algo que, por eficiencia, no siempre querremos hacer.



### 1.5.4.3. Funciones estándar y operadores

El fichero de cabecera `cctype` contiene varias funciones para trabajar con caracteres. Los argumentos y el resultado son de tipo `int`. Por ejemplo:

```
lower    toupper

#include <cctype>
using namespace std;

int main(){
    char letra_piso;
```

```
    letra_piso = tolower('A');    // Almacena 97 ('a')
    letra_piso = toupper('A');    // Almacena 65 ('A')
    letra_piso = tolower('B');    // Almacena 98 ('b')
    letra_piso = tolower('!');    // Almacena 33 ('!') No cambia
```

Los operadores aplicables a los enteros también son aplicables a cualquier `char` o a cualquier literal de carácter. El operador actúa siempre sobre el entero de orden correspondiente:

```
char caracter;    // También valdría cualquier tipo entero;
int diferencia;

caracter = 'A' + 1;    // Almacena 66 ('B')
caracter = 65 + 1;    // Almacena 66 ('B')
caracter = '7' - 1;    // Almacena 54 ('6')

diferencia = 'c' - 'a';    // Almacena 2
```

¿Qué imprimiría la sentencia `cout << 'A'+1`? No imprime 'B' como cabría esperar sino 66 ya que 1 es un literal entero y por tanto de tipo `int`. Un `int` es más grande que un `char`, por lo que 'A'+1 es un `int`.

## 1.5.5. El tipo de dato cadena de caracteres

Un literal de tipo *cadena de caracteres (string)* es una sucesión de caracteres encerrados entre comillas dobles:

"Hola", "a" son literales de cadena de caracteres

```
cout << "Esto es un literal de cadena de caracteres";
```

Las secuencias de escape también pueden aparecer en los literales de cadena de caracteres presentes en cout

```
int main(){
    cout << "Bienvenidos";
    cout << "\nEmpiezo a escribir en la siguiente línea";
    cout << "\n\tAcabo de tabular esta línea";
    cout << "\n";
    cout << "\nEsto es una comilla simple ";
    cout << " y esto es una comilla doble \"";
}
```

Escribiría en pantalla:

```
Bienvenidos
Empiezo a escribir en la siguiente línea
  Acabo de tabular esta línea

Esto es una comilla simple ' y esto es una comilla doble "
```

### Nota:

Formalmente, el tipo `string` no es un tipo simple sino compuesto de varios caracteres. Lo incluímos dentro de este tema en aras de simplificar la materia.

**Ejercicio.** Determinar cuales de las siguientes son constantes de cadena de caracteres válidas, y determinar la salida que tendría si se pasase como argumento a cout

- a) "8:15 P.M."    b) "8:15 P.M."    c) "8:15 P.M.",  
d) "Dirección\n"    e) "Dirección"    f) "Dirección\n"  
g) "Dirección\\n"

C++ ofrece dos alternativas para trabajar con cadenas de caracteres:

▷ *Cadenas estilo C:* son *vectores de caracteres* con terminador '\0'.  
Se verá en la asignatura Metodología de la Programación.

▷ Usando el tipo `string` (la recomendada en esta asignatura)

```
int main(){
    string mensaje_bienvenida;
    mensaje_bienvenida = "\tFundamentos de Programación\n";
    cout << mensaje_bienvenida;
}
```

Para poder operar con un `string` debemos incluir la biblioteca `string`:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;

int main(){
    string cad;
    cad = "Hola y ";
    cad = cad + "adiós";
    cout << cad;
}
```

Una función muy útil definida en la biblioteca `string` es:

```
to_string( <dato> )
```

donde **dato** puede ser casi cualquier tipo numérico. Para más información:

<http://en.cppreference.com/w/cpp/string/basic-string-to-string>

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;
```

```
int main(){
    string cadena;
    int entero;
    double real;
```

```
    entero = 27;
    real = 23.5;
    cadena = to_string(entero); // Almacena "27"
    cadena = to_string(real); // Almacena "23.500000"
}
```

### Nota:

La función `to_string` es otro ejemplo de función que puede trabajar con argumentos de distinto tipo de dato como enteros, reales, etc (sobrecargas de la función)

También están disponibles funciones para hacer la transformación inversa, como por ejemplo:

```
stoi( <cadena> ) stod( <cadena> )
```

que convierten a `int` y `double` respectivamente:

```
#include <iostream>
#include <string>
using namespace std;
```

```
int main(){
    string cadena;
    int entero;
    double real;
```

```
    cadena = "27";
    entero = stoi(cadena); // Almacena 27
    cadena = "23.5";
    real = stod(cadena); // Almacena 23.5
    cadena = " 23.5 basura";
    real = stod(cadena); // Almacena 23.5
    cadena = "basura 23.5";
    real = stod(cadena); // Error de ejecución
}
```

### Ampliación:

Realmente, `string` es una clase (lo veremos en temas posteriores) por lo que le serán aplicables métodos en la forma:

```
cad = "Hola y ";
cad.append("adiós"); // :-0
```



## 1.5.6. El tipo de dato lógico o booleano

Es un tipo de dato muy común en los lenguajes de programación. Se utiliza para representar los valores verdadero y falso que suelen estar asociados a una condición. En C++ se usa el tipo `bool`.

### 1.5.6.1. Rango

El rango de un dato de tipo *lógico (boolean)* está formado solamente por dos valores: verdadero y falso. Para representarlos, se usan los siguientes literales:

true                      false

### 1.5.6.2. Funciones standard y operadores lógicos

Una expresión lógica es una expresión cuyo resultado es un tipo de dato lógico.

Algunas funciones que devuelven un valor lógico:

▷ En la biblioteca `cctype`:

isalpha    isalnum    isdigit    ...

**Por ejemplo, `isalpha('3')` es una expresión lógica (devuelve false)**

```
#include <cctype>
using namespace std;
```

```
int main(){
    bool es_alfabetico, es_alfanumerico, es_digito_numerico;
```

```
    es_alfabetico      = isalpha('3');    // false
    es_alfanumerico     = isalnum('3');    // true
    es_digito_numerico  = isdigit('3');    // true
```

▷ En la biblioteca `cmath`:

isnan    isinf    isfinite    ...

**Comprueban, respectivamente, si un real contiene NaN, INF o si es distinto de los dos anteriores.**

```
#include <cmath>
using namespace std;
```

```
int main(){
    double real = 0.0;
    bool es_indeterminado;
```

```
    real = real/real;
    es_indeterminado = isnan(real);    // true
```

Los operadores son los clásicos de la lógica Y, O, NO que en C++ son los operadores `&&`, `||`, `!` respectivamente.

$p \equiv \text{Carlos es varón}$   
 $q \equiv \text{Carlos es joven}$

| $p$   | $q$   | $p \&\& q$ | $p    q$ | $p$   | $! p$ |
|-------|-------|------------|----------|-------|-------|
| true  | true  | true       | true     | true  | false |
| true  | false | false      | true     | false | true  |
| false | true  | false      | true     | true  | false |
| false | false | false      | false    | false | true  |

Por ejemplo, si  $p$  es `false`, y  $q$  es `true`,  $p \&\& q$  será `false` y  $p || q$  será `true`.

Recordad la siguiente regla nemotécnica:

- ▷ `false && expresión` siempre es `false`.
- ▷ `true || expresión` siempre es `true`.

Tabla de Precedencia:

`!`  
`&&`  
`||`

**Ejercicio.** Declarad dos variables de tipo `bool`, `es_joven` y `es_varon`. Asignadles cualquier valor. Declarad otra variable `es_varon_viejo` y asignadle el valor correcto usando las variables anteriores y los operadores lógicos.

1.5.6.3. Operadores Relacionales

Son los operadores habituales de comparación de expresiones numéricas.

Pueden aplicarse a operandos tanto enteros, reales, como de caracteres y tienen el mismo sentido que en Matemáticas. El resultado es de tipo `bool`.

`==` (igual), `!=` (distinto), `<`, `>`, `<=` (menor o igual) y `>=` (mayor o igual)

Algunos ejemplos:

- ▷ La expresión `(4 < 5)` devuelve valor `true`
- ▷ La expresión `(4 > 5)` devuelve el valor `false`
- ▷ La relación de orden entre caracteres se establece según la tabla ASCII.  
La expresión `('a' > 'b')` devuelve el valor `false`.
- `!=` es el operador relacional distinto.
- `!` es la negación lógica.
- `==` es el operador relacional de igualdad.
- `=` es la operación de asignación.
- Tanto en `==` como en `!=` se usan 2 signos para un único operador

```
// Ejemplo de operadores relacionales

int main(){
    int entero1, entero2;
    double real1, real2;
    bool menor, iguales;

    entero1 = 3;
    entero2 = 5;

    menor = entero1 < entero2;           // true
    menor = entero2 < entero1;           // false
    menor = (entero1 < entero2) && !(entero2 < 7); // false
    menor = (entero1 < entero2) || !(entero2 < 7); // true
    iguales = entero1 == entero2;       // false

    real1 = 3.8;
    real2 = 8.1;

    menor = real1 > real2;               // false
    menor = !menor;                     // true
}
```

Veremos su uso en la **sentencia condicional**:

```
if (4 < 5)
    cout << "4 es menor que 5";

if (! (4 > 5))
    cout << "4 es menor o igual que 5";
```

Tabla de Precedencia:

```
()
!
< <= > >=
== !=
&&
||
```

**A es menor o igual que B y B no es mayor que C**

```
int A = 40, B = 34, C = 50;
bool condicion;

condicion = A <= B && !B > C;           // Incorrecto
condicion = (A <= B) && !(B > C);       // Correcto
condicion = (A <= B) && !(B > C);       // Correcto

condicion = A <= B && B <= C;           // Correcto. Expresión simplificada
```



**Consejo:** Simplificad las expresiones lógicas, para así aumentar su legibilidad.



**Ejercicio.** Escribid una expresión lógica que devuelva true si un número entero edad está en el intervalo [0,100]



## 1.5.7. Lectura de varios datos

Hasta ahora hemos leído/escrito datos uno a uno desde/hacia la consola, separando los datos con `Enter`.

```
int entero, otro_entero;
double real;
```

```
cin >> entero;
cin >> real;
cin >> otro_entero;
```

También podríamos haber usado como separador un espacio en blanco o un tabulador. ¿Cómo funciona?

La E/S utiliza un *buffer* intermedio. Es un espacio de memoria que sirve para ir suministrando datos para las operaciones de E/S, desde el dispositivo de E/S al programa. Por ahora, dicho dispositivo será el teclado.

El primer `cin` pide datos al teclado. El usuario los introduce y cuando pulsa `Enter`, éstos pasan al `buffer` y termina la ejecución de `cin >> entero;`. Todo lo que se haya escrito en la consola pasa al `buffer`, *incluido* el `Enter`. Éste se almacena como el carácter `'\n'`.

Sobre el `buffer` hay definido un *cursor* (*cursor*) que es un apuntador al siguiente byte sobre el que se va a hacer la lectura. Lo representamos con `↑`. Representamos el espacio en blanco con `␣`

Supongamos que el usuario introduce 43      52.1<Enter>

|    |   |   |      |   |                |   |   |      |   |
|----|---|---|------|---|----------------|---|---|------|---|
| 43 | ␣ | ␣ | 52.1 | ↵ | cin >> entero; | ␣ | ␣ | 52.1 | ↵ |
| ↑  |   |   |      |   | entero = 43    |   |   |      | ↑ |

El 43 se asigna a `entero` y éste se borra del `buffer`.

Las ejecuciones posteriores de `cin` se saltan, previamente, los separadores que hubiese al principio del `buffer` (espacios en blanco, tabuladores y `↵`). Dichos separadores se eliminan del `buffer`.

La lectura se realiza sobre los datos que hay en el `buffer`. Si no hay más datos en él, el programa los pide a la consola.

**Ejemplo.** Supongamos que el usuario introduce 43      52.1<Enter>

```
cin >> entero;
// Usuario: 43      52.1<Enter>
// Buffer: [43      52.1↵]
// entero = 43
// Buffer: [      52.1↵]
cin >> real;
// real = 52.1
// Buffer: [↵]
cin >> otro_entero;
// Buffer: []
```

Ahora el `buffer` está vacío, por lo que el programa pide datos a la consola:

```
// Usuario: 37<Enter>
// otro_entero = 37;
// Buffer: [↵]
```

Esta comunicación funciona igual entre un fichero y el buffer. Para que la entrada de datos sea con un fichero en vez de la consola basta ejecutar el programa desde el sistema operativo, redirigiendo la entrada:

```
C:\mi_programa.exe < fichero.txt
```

## Contenido de fichero.txt:

43 52.1\|n37

**Desde un editor de texto se vería lo siguiente:**

|    |      |
|----|------|
| 43 | 52.1 |
| 37 |      |

**La lectura sería así:**

```

cin >> entero;

// Buffer: [43      52.1\n37]

// entero = 43

// Buffer: [      52.1\n37]

cin >> real;

// real = 52.1

// Buffer: [\n37]

cin >> otro_entero;

// otro_entero = 37;

// Buffer: []

```

¿Qué pasa si queremos leer un entero pero introducimos, por ejemplo, una letra? Se produce un error en la lectura y a partir de ese momento, todas las operaciones siguientes de lectura también dan fallo y el cursor no avanzaría.

|                                        |                                                                                              |                                        |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <pre> └─┐ └─┐ a └─┐ 1 2 3 └─┐ ↑ </pre> | <pre> cin &gt;&gt; entero; Fallo de lectura cin &gt;&gt; lo_que_sea; Fallo de lectura </pre> | <pre> └─┐ └─┐ a └─┐ 1 2 3 └─┐ ↑ </pre> |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|

Se puede *resetear* el estado de la lectura con `cin.clear()` y consultarse el estado actual (error o correcto) con `cin.fail()`. En cualquier caso, para simplificar, a lo largo de este curso asumiremos que los datos vienen en el orden correcto especificado en el programa, por lo que no será necesario recurrir a `cin.clear()` ni a `cin.fail()`.

Si vamos a leer sobre un tipo `char` debemos tener en cuenta que `cin` siempre se salta los separadores que previamente hubiese:

`char caracter;`

```
└─ a 1 2 3 ─┤ cin >> caracter; ─┤ 1 2 3
↑
└─ caracter = 'a' ─┤
↑
```

Si queremos leer los separadores en una variable de tipo `char` debemos usar `cin.get()`:

```
└─ a 1 2 3 ─┤ caracter = cin.get(); ─┤ a 1 2 3
↑
└─ caracter = ' ' ─┤
↑
```

```
a 1 2 3 ─┤ caracter = cin.get(); ─┤ 1 2 3
↑
└─ caracter = 'a' ─┤
↑
```

Lo mismo ocurre si hubiese un carácter de nueva línea:

```
└─ \n \n a \n ─┤ caracter = cin.get(); ─┤ \n a \n
↑
└─ caracter = '\n' ─┤
↑
```

**Ampliación:**

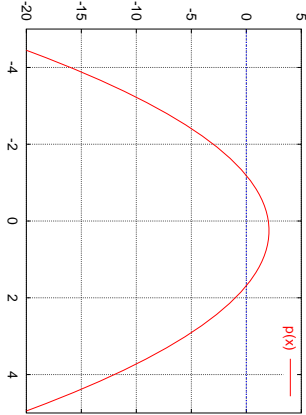
Para leer una cadena de caracteres (`string`) podemos usar la función `getline` de la biblioteca `string`. Permite leer caracteres hasta llegar a un terminador que, por defecto, es el carácter de nueva línea `'\n'`. La cadena a leer se pasa como un parámetro por referencia a la función. Este tipo de parámetros se estudian en el segundo cuatrimestre.



# I.6. El principio de una única vez

**Ejemplo.** Calcular las raíces de una ecuación de 2º grado.

$$p(x) = ax^2 + bx + c = 0$$



**Algoritmo:** Raíces de una parábola

- ▷ **Entradas:** Los parámetros de la ecuación  $a, b, c$ .
- Salidas:** Las raíces de la parábola  $r_1, r_2$
- ▷ **Descripción:**  
Calcular  $r_1, r_2$  en la forma siguiente:

$$r_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \qquad r_2 = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

int main(){
    double a, b, c;           // Parámetros de la ecuación
    double raiz1, raiz2;      // Raíces obtenidas

    cout << "\nIntroduce coeficiente de 2º grado: ";
    cin >> a;
    cout << "\nIntroduce coeficiente de 1er grado: ";
    cin >> b;
    cout << "\nIntroduce coeficiente independiente: ";
    cin >> c;
```

```
// Se evalúa dos veces la misma expresión:
raiz1 = (-b + sqrt(b*b + 4*a*c)) / (2*a);
raiz2 = (-b - sqrt(b*b + 4*a*c)) / (2*a);
```



```
cout << "\nLas raíces son: " << raiz1 << " y " << raiz2;
}
```

**En el código anterior se evalúa dos veces la expresión `sqrt( b*b + 4*a*c )`. Esto es nefasto ya que:**

▷ El compilador pierde tiempo al evaluar dos veces una misma expresión. El resultado es el mismo ya que los datos involucrados no han cambiado.

▷ Mucho más importante: Cualquier cambio que hagamos en el futuro nos obligará a modificar el código en dos sitios distintos. De hecho, había un error en la expresión y deberíamos haber puesto: `b*b - 4*a*c`, por lo que tendríamos que cambiar dos líneas.

**Para no repetir código usamos una variable para almacenar el valor de la expresión que se repite:**

```
int main(){
    double a, b, c;           // Parámetros de la ecuación
    double raiz1, raiz2;      // Raíces obtenidas
    double radical, denominador;
```

```
    cout << "\nIntroduce coeficiente de 2º grado: ";
    cin >> a;
    cout << "\nIntroduce coeficiente de 1er grado: ";
    cin >> b;
    cout << "\nIntroduce coeficiente independiente: ";
    cin >> c;
```

```
// Cada expresión sólo se evalúa una vez:
denominador = 2*a;
radical = sqrt(b*b - 4*a*c);
```



```
raiz1 = (-b + radical) / denominador;
raiz2 = (-b - radical) / denominador;
cout << "\nLas raíces son: " << raiz1 << " y " << raiz2;
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I\\_ecuacion\\_segundo\\_grado.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/I_ecuacion_segundo_grado.cpp)

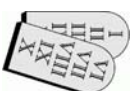
### Nota:

Observad que, realmente, también se repite la expresión `-b`. Debido a la sencillez de la expresión, se ha optado por mantenerla duplicada.

**Principio de Programación:**

**Una única vez (Once and only once)**

**Cada descripción de comportamiento debe aparecer una única vez en nuestro programa.**



O dicho de una manera informal:

***Jamás ha de repetirse código***

La violación de este principio hace que los programas sean difíciles de actualizar ya que cualquier cambio ha de realizarse en todos los sitios en los que está repetido el código. Esto aumenta las posibilidades de cometer un error ya que podría omitirse alguno de estos cambios.

En el tema III (Funciones y Clases) veremos herramientas que los lenguajes de programación proporcionan para poder cumplir este principio. Por ahora, nos limitaremos a seguir el siguiente consejo:

***Si el resultado de una expresión no cambia en dos sitios distintos del programa, usaremos una variable para almacenar el resultado de la expresión y utilizaremos su valor tantas veces como queramos.***

**Bibliografía recomendada para este tema:**

- ▷ A un nivel menor del presentado en las transparencias:
  - Primer capítulo de Deitel & Deitel
  - Primer capítulo de Garrido.
- ▷ A un nivel similar al presentado en las transparencias:
  - Capítulo 1 y apartados 2.1, 2.2 y 2.3 de Savitch
- ▷ A un nivel con más detalles:
  - Los seis primeros capítulos de Breedlove.
  - Los tres primeros capítulos de Gaddis.
  - Los tres primeros capítulos de Stephen Prata.
  - Los dos primeros capítulos de Lafore.

## II.1. Estructura condicional

### II.1.1. Flujo de control

El *flujo de control* (*control flow*) es la especificación del orden de ejecución de las sentencias de un programa.

Una forma de especificarlo es numerando las líneas de un programa. Por ejemplo, recordad el ejemplo de la página 94 (no numeramos las sentencias de declaración de los datos):

```
int main(){
    double a, b, c;           // Parámetros de la ecuación
    double raiz1, raiz2;      // Raíces obtenidas
    double radical, denominador;

    1  cout << "\nIntroduce coeficiente de 2º grado: ";
    2  cin >> a;
    3  cout << "\nIntroduce coeficiente de 1er grado: ";
    4  cin >> b;
    5  cout << "\nIntroduce coeficiente independiente: ";
    6  cin >> c;

    7  denominador = 2*a;
    8  radical = sqrt(b*b - 4*a*c);
    9  raiz1 = (-b + radical) / denominador;
    10 raiz2 = (-b - radical) / denominador;

    11 cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
}
```

**Flujo de control: (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11)**

# Tema II

## Estructuras de Control

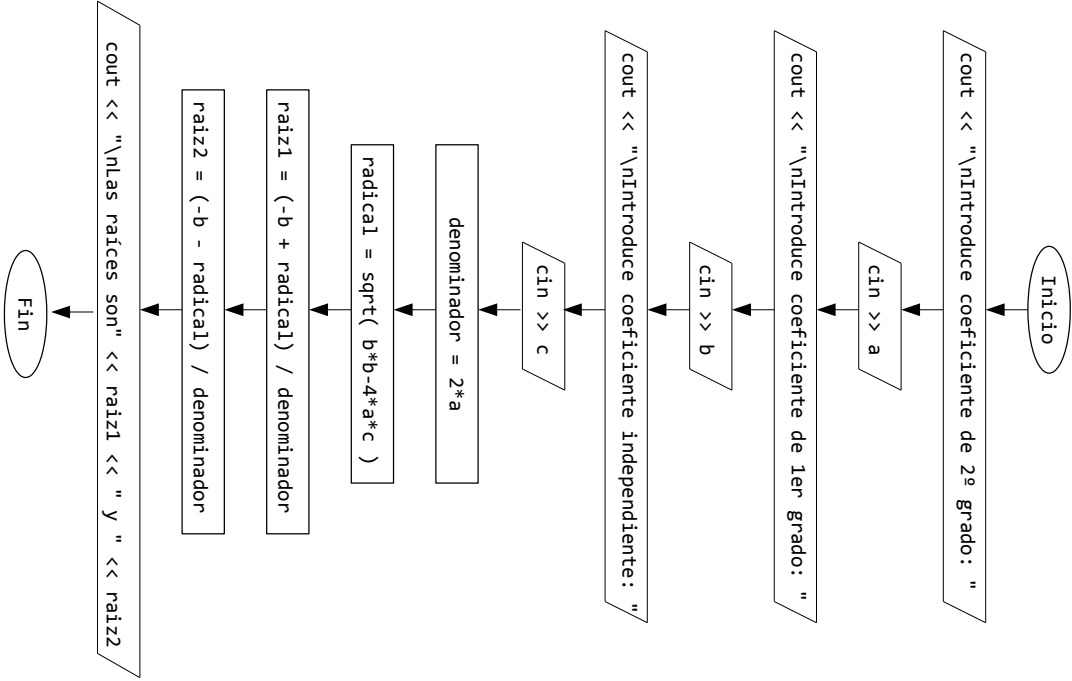
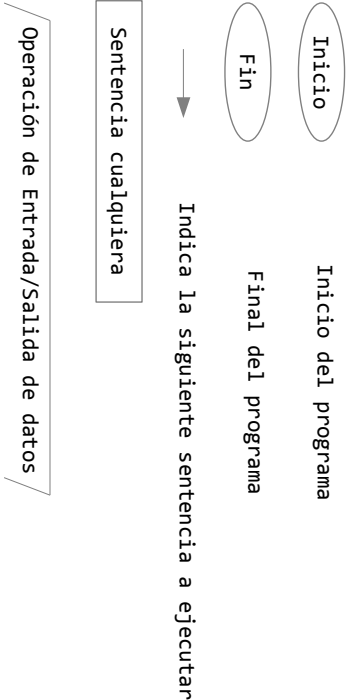
### Objetivos:

- ▷ Introducir las estructuras condicionales que nos permitirán realizar saltos hacia adelante durante la ejecución del código.
- ▷ Introducir las estructuras repetitivas que nos permitirán realizar saltos hacia atrás durante la ejecución del código.
- ▷ Introducir pautas de programación en la construcción de las estructuras condicionales y repetitivas.

Autor: Juan Carlos Cubero.

Sugerencias: por favor, enviar un e-mail a [JC.Cubero@decsai.ugr.es](mailto:JC.Cubero@decsai.ugr.es)

Otra forma de especificar el orden de ejecución de las sentencias es usando un *diagrama de flujo (flowchart)* . Los símbolos básicos de éste son:



Hasta ahora el orden de ejecución de las sentencias es secuencial, es decir, éstas se van ejecutando sucesivamente, siguiendo su orden de aparición. Esta forma predeterminada de flujo de control diremos que constituye la *estructura secuencial (sequential control flow structure)*.

En los siguientes apartados vamos a ver cómo realizar saltos. Éstos podrán ser:

▷ Hacia delante.

Implicará que un conjunto de sentencias no se ejecutarán.

Vienen definidos a través de una estructura condicional.

▷ Hacia atrás.

Implicará que volverá a ejecutarse un conjunto de sentencias.

Vienen definidos a través de una estructura repetitiva.

¿Cómo se realiza un salto hacia delante? Vendrá determinado por el cumplimiento de una *condición (condition)* especificada a través de una expresión lógica.

Una *estructura condicional (conditional structure)* es una estructura que permite la ejecución de una (o más) sentencia(s) dependiendo de la evaluación de una condición.

Existen tres tipos: *Simple, Doble y Múltiple*

## II.1.2. Estructura condicional simple

### II.1.2.1. Formato

```
if (< condición >)  
< bloque if >
```

< *condición* > es una expresión lógica

< *bloque if* > es el bloque que se ejecutará si la expresión lógica se evalúa a `true`. Si hay varias sentencias dentro, es necesario encerrarlas entre llaves. Si sólo hay una sentencia, pueden omitirse las llaves.

Los paréntesis que encierran la condición son obligatorios.

Todo el bloque que empieza por `if` y termina con la última sentencia incluida en el condicional (incluida la llave cerrada, en su caso), forma una única sentencia, denominada *sentencia condicional (conditional statement)*.



**Ejemplo.** Leer un número e imprimir "Es par" en el caso de que sea par.

```
int entero;
cin >> entero;

if (entero % 2 == 0){
    cout << "\nEs par";
}

cout << "\nFin del programa";
```

**o si se prefiere:**

```
if (entero % 2 == 0)
    cout << "\nEs par";

cout << "\nFin del programa";
```

**Si el número es impar, únicamente se mostrará el mensaje:**

Fin del programa

**Ejemplo.** En un programa de gestión de notas, subir medio punto a los que han sacado más de 4.5 puntos en el examen escrito.

```
double nota_escrito;

cin >> nota_escrito;

if (nota_escrito >= 4.5)
    nota_escrito = nota_escrito + 0.5;
```

En el caso de que la nota escrita sea menor de 4.5, simplemente no se aplicará la subida. La variable `nota_escrito` se quedará con el valor que tenía.

**Ejemplo.** Continuando el ejemplo de la página 98



```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

int main(){
    double a, b, c;          // Parámetros de la ecuación
    double raiz1, raiz2;     // Raíces obtenidas
    double radical, denominador;

    cout << "\nIntroduce coeficiente de 2º grado: ";
    cin >> a;
    cout << "\nIntroduce coeficiente de 1er grado: ";
    cin >> b;
    cout << "\nIntroduce coeficiente independiente: ";
    cin >> c;

    if (a!=0) {
        denominador = 2*a;
        radical = sqrt(b*b - 4*a*c);
        raiz1 = (-b + radical) / denominador;
        raiz2 = (-b - radical) / denominador;

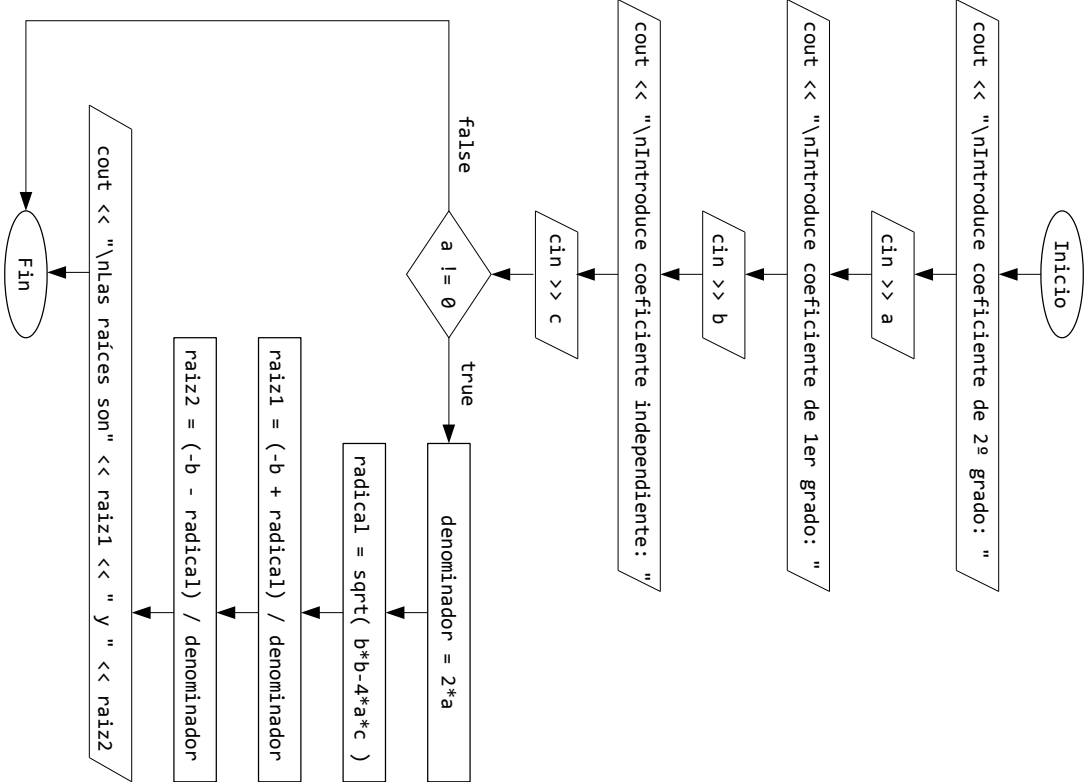
        cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
    }
}
```

II.1.2.2. Diagrama de Flujo

Para representar una estructura condicional en un diagrama de flujo, se utiliza un rombo:



El ejemplo de la ecuación de segundo grado quedaría:



### II.1.2.3. Cuestión de estilo

El compilador se salta todos los separadores (espacios, tabulaciones, etc) entre las sentencias delimitadas por ;

Para favorecer la lectura del código y enfatizar el bloque de sentencias incluidas en la estructura condicional, usaremos el siguiente estilo de codificación:

```
cin >> c;

if (a!=0){
    denominador = 2*a;
    radical = sqrt( b*b-4*a*c );
    raiz1 = (-b + radical) / denominador;
    raiz2 = (-b - radical) / denominador;
    cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
}

Bloque if tabulado 3 espacios

Llave cerrada (sin tabulación)
```

Línea en blanco antes del condicional

Línea en blanco después del condicional



**Destacad visualmente el bloque de instrucciones de una estructura condicional.**

**No seguir estas normas baja puntos en el examen.**

Si hay varias sentencias, es necesario encerrarlas entre llaves. Dicho de otra forma: si no ponemos llaves, el compilador entiende que la única sentencia del bloque if es la que hay justo debajo.

```
if (a!=0)
    denominador = 2*a;
    radical = sqrt(b*b - 4*a*c);

    raiz1 = (-b + radical) / denominador;
    raiz2 = (-b - radical) / denominador;

    cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
```

**Para el compilador es como si fuese:**

```
if (a!=0){
    denominador = 2*a;
}

radical = sqrt(b*b - 4*a*c);

raiz1 = (-b + radical) / denominador;
raiz2 = (-b - radical) / denominador;

cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
```

## II.1.2.4. Condiciones compuestas

En muchos casos tendremos que utilizar condiciones compuestas:

**Ejemplo.** Comprobad si un número real está dentro de un intervalo cerrado [inferior, superior].

```
double inferior, superior, dato;

cout << "\nIntroduzca los extremos del intervalo: ";
cin >> inferior;
cin >> superior;
cout << "\nIntroduzca un real arbitrario: ";
cin >> dato;

if (dato >= inferior && dato <= superior)
    cout << "\nEl valor " << dato << " está dentro del intervalo";
```

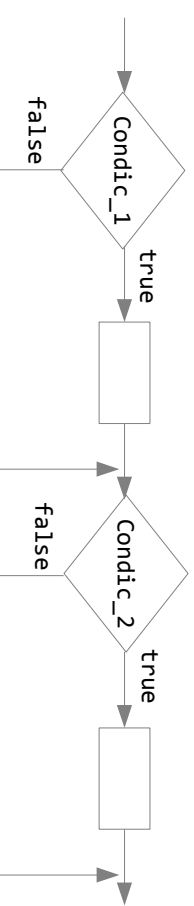
**Ejercicio.** Subir medio punto al examen escrito de aquellos alumnos que hayan tenido una puntuación entre 4.5 y 8.

**Ejercicio.** Comprobad si una persona es menor de edad o mayor de 65 años.

## II.1.2.5. Estructuras condicionales consecutivas

¿Qué ocurre si en el código hay dos estructuras condicionales simples consecutivas? Si las dos condiciones son verdaderas, se ejecutarán los dos bloques de instrucciones correspondientes.

```
if (Condic_1)
    .....
if (Condic_2)
    .....
```



**Ejemplo.** Comprobad si un número es par o impar y múltiplo de 13 o no.

```
int entero;
cin >> entero;
```

```
if (entero % 2 == 0)
    cout << "\n" << entero << " es par";
```

```
if (entero % 13 == 0)
    cout << "\n" << entero << " es múltiplo de 13";
```

Dependiendo del valor de `entero`, se pueden imprimir ambos mensajes, uno sólo de ellos o ninguno.

**Ejemplo.** Comprobad si una persona es mayor de edad y si tiene más de 190 cm de altura.

```
int edad, altura;
cin >> edad;
cin >> altura;
```

```
if (edad >= 18)
    cout << "\nEs mayor de edad";
if (altura >= 190)
    cout << "\nEs alto/a";
```

Dependiendo de los valores de `edad` y `altura` se pueden imprimir ambos mensajes, uno sólo de ellos o ninguno.

**Ejemplo.** En un programa de ventas, si la cantidad vendida es mayor de 100 unidades, se le aplica un descuento del 3%. Por otra parte, si el precio final de la venta es mayor de 700 euros, se aplica un descuento del 2%. Ambos descuentos son acumulables.

Para aplicar un descuento del 2%, basta hacer lo siguiente:

```
cantidad = cantidad - cantidad * 2 / 100.0;
```

o directamente:

```
cantidad = cantidad * (1 - 0.02);
```

Si aplicamos una subida, pondríamos  $(1 + 0.02)$ . En general, el número resultante  $(0.98, 1.02)$  se le denomina *índice de variación*.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    // IV = INDICE_VARIACION

    const int MINIMO_UNIDADES_PARA_DESCUENTO = 100;
    const double MINIMO_VENTA_GRANDE_PARA_DESCUENTO = 700.0;
    const double IV_DESCUENTO_POR_UNIDADES_VENDIDAS = 1 - 0.03;
    const double IV_DESCUENTO_POR_VENTA_GRANDE = 1 - 0.02;
    double precio_unitario, total_venta;
    int unidades_vendidas;

    cout << "Precio unitario: ";
    cin >> precio_unitario;
    cout << "\nUnidades vendidas: ";
    cin >> unidades_vendidas;
```

```
if (unidades_vendidas >= MINIMO_UNIDADES_PARA_DESCUENTO)
    precio_unitario = precio_unitario *
        IV_DESCUENTO_POR_UNIDADES_VENDIDAS;

total_venta = precio_unitario * unidades_vendidas;

if (total_venta >= MINIMO_VENTA_GRANDE_PARA_DESCUENTO)
    total_venta = total_venta *
        IV_DESCUENTO_POR_VENTA_GRANDE;

cout << "\nTotal venta: " << total_venta;
}
```

Dependiendo del número de unidades vendidas y del precio de éstas, podrá aplicarse uno de los dos descuentos y el otro no, los dos, o ninguno.

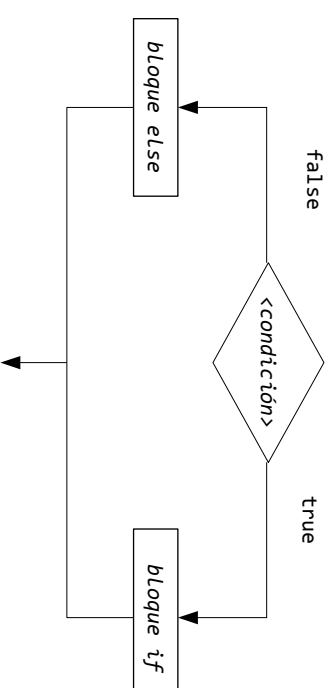
[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_ventas.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_ventas.cpp)

## II.1.3. Estructura condicional doble

### II.1.3.1. Formato

En numerosas ocasiones queremos realizar una acción en el caso de que una condición sea verdadera y otra acción distinta en cualquier otro caso. Para ello, usaremos la **estructura condicional doble** (*else conditional structure*) :

```
if < condición >
    < bloque if >;
else
    < bloque else >;
```



Todo el bloque que empieza por `if` y termina con la última sentencia incluida en el `else` (incluida la llave cerrada, en su caso), forma una única sentencia, denominada **sentencia condicional doble** (*else conditional statement*) .

### Ejemplo. Comprobad si un número es par (continuación)

```
cin >> entero;

if (entero % 2 == 0)
    cout << "\nEs par";
else
    cout << "\nEs impar";

cout << "\nFin del programa";
```

### Ejemplo. Comprobad si un número real está dentro de un intervalo cerrado [inferior, superior] (continuación)

```
double inferior, superior, dato;

cout << "\nIntroduzca los extremos del intervalo: ";
cin >> inferior;
cin >> superior;
cout << "\nIntroduzca un real arbitrario: ";
cin >> dato;

if (dato >= inferior && dato <= superior)
    cout << "\nEl valor " << dato << " está dentro del intervalo";
else
    cout << "\nEl valor " << dato << " está fuera del intervalo";
```

### Ejemplo. ¿Qué pasa si $a = 0$ en la ecuación de segundo grado? El algoritmo debe devolver $-c/b$ .

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;
```



174

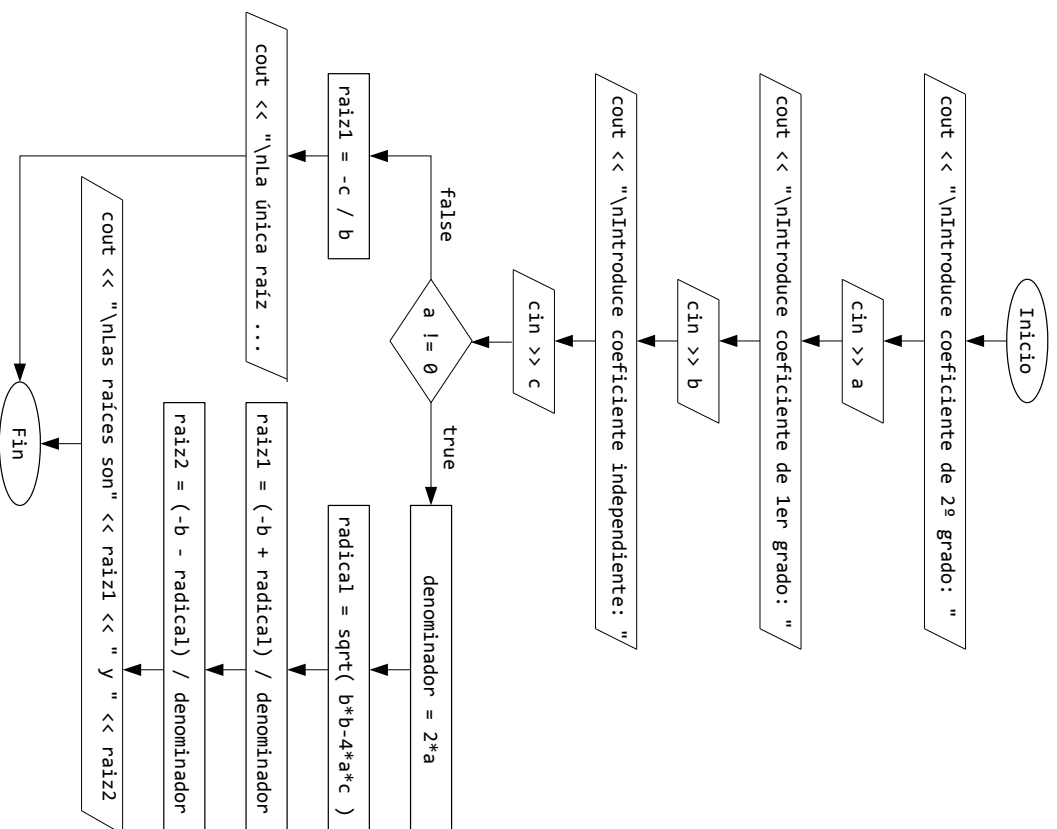
```
int main(){
    double a, b, c;          // Parámetros de la ecuación
    double raiz1, raiz2;     // Raíces obtenidas
    double radical, denominador;

    cout << "\nIntroduce coeficiente de 2º grado: ";
    cin >> a;
    cout << "\nIntroduce coeficiente de 1er grado: ";
    cin >> b;
    cout << "\nIntroduce coeficiente independiente: ";
    cin >> c;

    if (a != 0) {
        denominador = 2*a;
        radical = sqrt(b*b - 4*a*c);

        raiz1 = (-b + radical) / denominador;
        raiz2 = (-b - radical) / denominador;

        cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
    }
    else{
        raiz1 = -c/b;
        cout << "\nLa única raíz es " << raiz1;
    }
}
```



**Ejemplo.** En el ejemplo de la página 103 se subía la nota a los que tenían más de 4.5. ¿Qué ocurre si la nota es menor?

```

cin >> nota_escrito;

if (nota_escrito >= 4.5)
    nota_escrito = nota_escrito + 0.5;
else
    nota_escrito = nota_escrito;
  
```



Obviamente, no es necesario el `else`. Si la nota es menor, la variable `nota_escrito` debe quedarse con el valor que tenía. La sentencia `nota_escrito = nota_escrito`; no sirve de nada ya que no modifica el antiguo valor de la variable.

En definitiva, en este ejemplo, no es necesaria una estructura condicional doble sino sencilla, por lo que nos quedamos con la versión de la página 103.

Lo mismo ocurre en el ejemplo de las ventas de la página 112. No hay que incluir ningún `else`.



### II.1.3.2. Variables no asignadas en los condicionales

Supongamos una variable sin un valor asignado antes de entrar a un condicional. ¿Qué ocurre si dentro del bloque `if` le asignamos un valor pero no lo hacemos en el bloque `else`? Si la condición es `false`, al salir del condicional, la variable seguiría teniendo un valor indeterminado.

**Ejemplo.** En el ejemplo del número par, en vez de imprimir un mensaje, asignamos un valor a una variable de tipo `bool`:

```
int entero;
bool es_par_entero;

cin >> entero;

if (entero % 2 == 0)
    es_par_entero = true;
if (es_par_entero)
    .....
```



Este código puede producir errores lógicos ya que el valor de la variable `es_par_entero` es indeterminado en el caso de que `entero` sea impar.

Solución:

```
int entero;
bool es_par_entero;

cin >> entero;

if (entero % 2 == 0)
    es_par_entero = true;
else
    es_par_entero = false;
```

Y mejor si sustituimos el condicional doble por:

```
int entero;
bool es_par_entero;

cin >> entero;

es_par_entero = entero % 2 == 0;
```

*Debemos prestar especial atención a los condicionales en los que se asigna un primer valor a alguna variable. Intentaremos garantizar que dicha variable salga siempre del condicional (independientemente de si la condición era verdadera o falsa) con un valor establecido.*

**Ejercicio.** Siguiendo el ejemplo del intervalo cerrado `[inferior, superior]`, asignad convenientemente un valor a una variable lógica pertenece\_al\_intervalo.

**Ejercicio.** Leed dos variables enteras `a` y `b` y asignad a una variable `max` el máximo de ambas.

**Ejemplo.** En el ejemplo de la ecuación de segundo grado, si la variable `a` es igual a cero, sólo se le asigna un valor a `raiz1` pero no a `raiz2`, por ejemplo. Como el programa termina con el condicional, dichas variables no se usan posteriormente, por lo que no tendríamos que cambiar el código. Sin embargo, si no fuese así, sí habría que modificarlo convenientemente. Posteriormente se verá una versión completa de este ejemplo.

### II.1.3.3. Condiciones mutuamente excluyentes

**Ejemplo.** El ejemplo del número par podría haberse resuelto usando dos condicionales simples consecutivos, en vez de un condicional doble:

```
if (entero % 2 == 0)
    cout << "\nEs par";
if (entero % 2 != 0)
    cout << "\nEs impar";

cout << "\nFin del programa";
```



Como las dos condiciones `entero % 2 == 0` y `entero % 2 != 0` no pueden ser verdad simultáneamente, garantizamos que no se muestren los dos mensajes consecutivamente. Esta solución funciona pero, aunque no lo parezca, repite código:

```
entero % 2 == 0    es equivalente a    !(entero % 2 != 0)
```

Por lo tanto, el anterior código es equivalente al siguiente:

```
if (entero % 2 == 0)
    cout << "\nEs par";
if (!(entero % 2 == 0))
    cout << "\nEs impar";
```



Ahora se observa mejor que estamos repitiendo código, violando por tanto el principio de una única vez. Por esta razón, debemos utilizar la estructura condicional doble en vez de dos condicionales simples consecutivos.

**Ejemplo.** La solución al ejemplo de la ecuación de segundo grado utilizando dos condicionales simples consecutivos sería:

```
if (a != 0){
    denominador = 2*a;
    radical = sqrt(b*b - 4*a*c);

    raiz1 = (-b + radical) / denominador;
    raiz2 = (-b - radical) / denominador;

    cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
}

if (a == 0)
    cout << "\nTiene una única raíz" << -c/b;
```



Al igual que antes, estaríamos repitiendo código por lo que debemos usar la solución con el condicional doble.

En Lógica y Estadística se dice que un conjunto de dos sucesos es **mutuamente excluyente** (*mutually exclusive*) si se verifica que cuando uno cualquiera de ellos es verdadero, el otro es falso. Por ejemplo, obtener cara o cruz al lanzar una moneda al aire, o ser mayor o menor de edad.

Por extensión, diremos que las condiciones que definen los sucesos son mutuamente excluyentes.

### Ejemplo.

- ▷ Las condiciones `entero % 2 == 0` y `entero % 2 != 0` son mutuamente excluyentes: si la expresión `entero % 2 == 0` es true, la expresión `entero % 2 != 0` siempre es false y viceversa.
- ▷ Las condiciones `(a != 0) y (a == 0)` son mutuamente excluyentes.
- ▷ Las condiciones `(edad >= 18) y (edad < 18)` son mutuamente excluyentes.

Utilizaremos una estructura condicional doble cuando tengamos que trabajar con dos condiciones mutuamente excluyentes. Únicamente tendremos que poner en la expresión lógica del `if` una de las dos condiciones

```
if (entero % 2 == 0)      if (edad >= 18)      if (a != 0)      😊
```

```
.....                .....                .....  
else                    else                    else  
.....                .....                .....
```

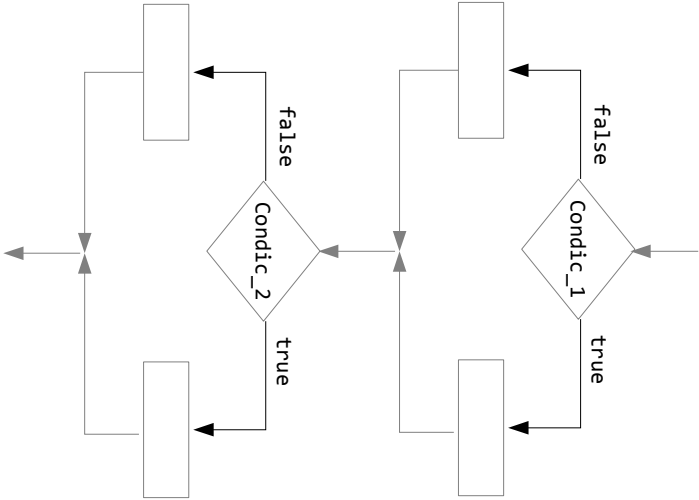
```
if (entero % 2 == 0)      if (edad >= 18)      if (a != 0)      😞
```

```
.....                .....                .....  
if (entero % 2 != 0)      if (edad < 18)      if (a == 0)  
.....                .....                .....
```

## II.1.3.4. Estructuras condicionales dobles consecutivas

Un condicional doble garantiza la ejecución de un bloque de instrucciones: o bien el bloque del `if`, o bien el bloque del `else`. Si hay dos condicionales dobles consecutivos, se ejecutarán los bloques de instrucciones que correspondan: o ninguno, o uno de ellos, o los dos.

```
if (Cond1c_1)  
.....  
else  
.....  
  
if (Cond1c_2)  
.....  
else  
.....
```



**Ejemplo.** Leed un entero y decir si es par y si es múltiplo de 13. Observad que se pueden dar las cuatro combinaciones. Por ejemplo, 26 es par y múltiplo de 13, 12 es par pero no múltiplo de 13, 39 es impar y múltiplo de 13 y 41 es impar pero no es múltiplo de 13.

```
int entero;
cin >> entero;

if (entero % 2 == 0)
    cout << "\n" << entero << " es par";
else
    cout << "\n" << entero << " es impar";

if (entero % 13 == 0)
    cout << "\n" << entero << " es múltiplo de 13";
else
    cout << "\n" << entero << " no es múltiplo de 13";
```

Siempre se imprimirán dos mensajes. Uno relativo a la condición de ser par o impar y el otro relativo a ser múltiplo o no de 13.

**Ejemplo.** Leer la edad y la altura de una persona y decir si es mayor o menor de edad y si es alta o no. Se pueden dar las cuatro combinaciones posibles: mayor de edad alto, mayor de edad no alto, menor de edad alto, menor de edad no alto.

```
int edad, altura;

cin >> edad;
cin >> altura;

if (edad >= 18)
    cout << "\nEs mayor de edad";
else
    cout << "\nEs menor de edad";

if (altura >= 190)
    cout << "\nEs alto/a";
else
    cout << "\nNo es alto/a";
```

Siempre se imprimirán dos mensajes. Uno relativo a la condición de ser mayor o menor de edad y el otro relativo a la altura.

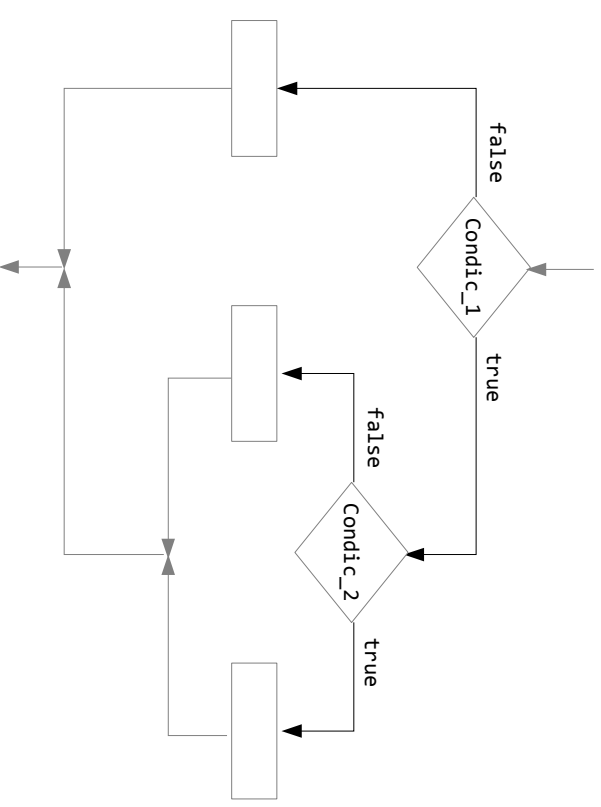
*Una situación típica de uso de estructuras condicionales dobles consecutivas, se presenta cuando tenemos que comprobar distintas condiciones independientes entre sí. Dadas  $n$  condiciones que dan lugar a  $n$  condicionales dobles consecutivos, se pueden presentar  $2^n$  situaciones posibles.*

## II.1.4. Anidamiento de estructuras condicionales

Dentro de un bloque `if` o `else`, puede incluirse otra estructura condicional, anidándose tanto como permita el compilador (aunque lo normal será que no tengamos más de tres o cuatro niveles de anidamiento).

Por ejemplo, si anidamos un condicional doble dentro de un bloque `if`:

```
if (Condic_1)
    .....
else
    if (Condic_2)
        .....
    else
        .....
```



Ejemplo. ¿Cuándo se ejecuta cada instrucción?

```
if (condic_1){
    inst_1;
}

if (condic_2){
    inst_2;
}
else{
    inst_3;
}

    inst_4;
}
else{
    inst_5;

        if (condic_3)
            inst_6;
    }
}
```

|        | condic_1 | condic_2 | condic_3 |
|--------|----------|----------|----------|
| inst_1 | true     | da igual | da igual |
| inst_2 | true     | true     | da igual |
| inst_3 | true     | false    | da igual |
| inst_4 | true     | da igual | da igual |
| inst_5 | false    | da igual | da igual |
| inst_6 | false    | da igual | true     |

Ejemplo. Retomamos el ejemplo de subir la nota de la página 103:

```
double nota_escrito;

cin >> nota_escrito;

if (nota_escrito >= 4.5)
    nota_escrito = nota_escrito + 0.5;
```

Debemos tener en cuenta que la nota no sea nunca mayor de 10. Después de realizar la subida, truncamos a 10 si es necesario. Usamos un condicional anidado:

```
double nota_escrito;

cin >> nota_escrito;

if (nota_escrito >= 4.5){
    nota_escrito = nota_escrito + 0.5;

    if (nota_escrito > 10)
        nota_escrito = 10;
}
```

Observad que al haber más de una instrucción en el bloque if, debemos introducir llaves.

**Ejemplo.** El ejemplo de la página 126 queríamos ver si un número era par o impar y múltiplo o no de 13. Cambiamos el ejercicio para comprobar si un número es par, en cuyo caso, queremos ver si es múltiplo de 13. Si no es par, no comprobamos nada más.

Tenemos tres situaciones posibles: par múltiplo de 13, par no múltiplo de 13, impar.

```
cin >> entero;

if (entero % 2 == 0){
    cout << "\n" << entero << " es par";

    if (entero % 13 == 0)
        cout << "\n" << entero << " es múltiplo de 13";
    else
        cout << "\n" << entero << " no es múltiplo de 13";
    }
else
    cout << "\n" << entero << " es impar";
```

Si es par, se imprimirán dos mensajes. Uno diciendo que es par y el otro diciendo si es múltiplo o no de 13. Si es impar, sólo se imprimirá un mensaje (diciendo que es impar)

**Ejemplo.** Sobre el ejemplo anterior, lo cambiamos para comprobar si es múltiplo de 13, sólo cuando sea impar. Si es par, no comprobamos nada más.

Tenemos tres situaciones posibles: par, impar múltiplo de 13, impar no múltiplo de 13.

```
cin >> entero;

if (entero % 2 == 0)
    cout << "\n" << entero << " es par";
else{
    cout << "\n" << entero << " es impar";

    if (entero % 13 == 0)
        cout << "\n" << entero << " es múltiplo de 13";
    else
        cout << "\n" << entero << " no es múltiplo de 13";
    }
}
```

Si es impar, se imprimirán dos mensajes. Uno diciendo que es impar y el otro diciendo si es múltiplo o no de 13. Si es par, sólo se imprimirá un mensaje (diciendo que es par)

**Ejemplo.** Modificamos el ejemplo de la edad y la altura de una persona visto en la página 127. Si es mayor de edad, decimos si es alto o no. Si es menor de edad no hacemos nada más.

Tenemos tres situaciones posibles: mayor de edad alto, mayor de edad no alto, menor de edad.

```
int edad, altura;

cin >> edad;
cin >> altura;

if (edad >= 18){
    cout << "\nEs mayor de edad";

    if (altura >= 190)
        cout << "\nEs alto/a";
    else
        cout << "\nNo es alto/a";
    }
else
    cout << "\nEs menor de edad";
```

**Ejemplo.** Cambiamos el ejemplo anterior para implementar el siguiente criterio: Si es mayor de edad, el umbral para decidir si una persona es alta o no es 190 cm. Si es menor de edad, el umbral baja a 175 cm.

Tenemos cuatro situaciones posibles: mayor de edad alto, mayor de edad no alto, menor de edad alto, menor de edad no alto.

```
int edad, altura;

cin >> edad;
cin >> altura;

if (edad >= 18){
    cout << "\nEs mayor de edad";

    if (altura >= 190)
        cout << "\nEs alto/a";
    else
        cout << "\nNo es alto/a";
    }
else{
    cout << "\nEs menor de edad";

    if (altura >= 175)
        cout << "\nEs alto/a";
    else
        cout << "\nNo es alto/a";
    }
}
```

Observad que si el umbral de la altura fuese el mismo para cualquier edad, la solución es la que vimos en la página 127.



**Ejemplo.** Refinamos el programa para el cálculo de las raíces de una ecuación de segundo grado visto en la página 116 para contemplar los casos especiales.

```
.....
if (a != 0) {
    denominador = 2*a;
    radicando = b*b - 4*a*c;

    if (radicando == 0){
        raiz1 = -b / denominador;
        cout << "\nSólo hay una raíz doble: " << raiz1;
    }
    else{
        if (radicando > 0){
            radical = sqrt(radicando);
            raiz1 = (-b + radical) / denominador;
            raiz2 = (-b - radical) / denominador;
            cout << "\nLas raíces son" << raiz1 << " y " << raiz2;
        }
        else
            cout << "\nNo hay raíces reales.";
    }
}
else{
    if (b != 0){
        raiz1 = -c / b;
        cout << "\nEs una recta. La única raíz es " << raiz1;
    }
    else
        cout << "\nNo es una ecuación.";
}
```



**Ejemplo.** Reescribid el siguiente ejemplo utilizando únicamente estructuras condicionales no anidadas:

```
if (A>B)
    if (B<=C)
        if (C!=D)
            <S1>;
        else
            <S2>;
    else
        <S3>;
else
    <S4>;

↓

if ((A>B) && (B<=C) && (C!=D))
    <S1>;
if ((A>B) && (B<=C) && (C==D))
    <S2>;
if ((A>B) && (B>C))
    <S3>;
if (A<=B)
    <S4>;
```

Preferimos el primero ya que realiza menos comprobaciones, y sobre todo porque no duplica código (el de las condiciones) y es, por tanto, menos propenso a errores de escritura o ante posibles cambios futuros.

**Ejemplo.** Se quiere establecer una bonificación  $b$  en la cotización de la Seguridad Social de los trabajadores según la edad ( $e$ ) y el número de meses trabajados ( $m$ ) según el siguiente criterio:

- ▷ Si  $18 \leq e \leq 35$  y  $m \leq 3 \Rightarrow b = 8\%$
- ▷ Si  $18 \leq e \leq 35$  y  $m > 3 \Rightarrow b = 4\%$
- ▷ Si  $e > 35$  y  $m \leq 6 \Rightarrow b = 5\%$
- ▷ Si  $e > 35$  y  $m > 6 \Rightarrow b = 3\%$
- ▷ Si  $16 \leq e < 18 \Rightarrow b = 2\%$

**Versión sin anidar** 😊 :

```
#include <iostream>
using namespace std;
```



```
int main(){
    int edad;
    int meses_trabajados;
    double bonificacion;

    cout << "\nIntroduzca la edad del trabajador";
    cin >> edad;
    cout << "\nIntroduzca el número de meses trabajados";
    cin >> meses_trabajados;

    // Repetimos código:

    if (18 <= edad && edad <= 35 && meses_trabajados <= 3)
        bonificacion = 0.08;

    if (18 <= edad && edad <= 35 && meses_trabajados > 3)
        bonificacion = 0.04;
```

```
if (35 < edad && meses_trabajados <= 6)
    bonificacion = 0.05;

if (35 < edad && meses_trabajados > 6)
    bonificacion = 0.03;

if (16 <= edad && edad < 18)
    bonificacion = 0.02;

.....
}
```

La expresión  $18 \leq \text{edad}$  (por ejemplo) se repite varias veces, por lo que el código es propenso a errores y difícil de actualizar. La versión anidando no repite el código de las expresiones lógicas relacionales 😊 :

```
if (16 <= edad && edad < 18)
    bonificacion = 0.02;
else{
    if (edad <= 35)
        if (meses_trabajados <= 3)
            bonificacion = 0.08;
        else
            bonificacion = 0.04;
    else
        if (meses_trabajados <= 6)
            bonificacion = 0.05;
        else
            bonificacion = 0.03;
}
```



### Nota:

Hemos supuesto que el valor de **edad** es correcto (entre 16 y 65, que es la edad laboral) En el caso de que no fuese así, se podría asignar a la bonificación un valor extremo (infinito o indeterminación)

### Ejemplo. Menú de operaciones.

```
#include <iostream>
#include <cctype>
using namespace std;
```



```
int main(){
    double dato1, dato2, resultado;
    char opcion;

    cout << "\nIntroduce el primer operando: ";
    cin >> dato1;
    cout << "\nIntroduce el segundo operando: ";
    cin >> dato2;
    cout << "\nElige (S)Sumar, (R)Restar, (M)Multiplicar: ";
    cin >> opcion;

    opcion = toupper(opcion);

    if (opcion == 'S')
        resultado = dato1 + dato2;
    if (opcion == 'R')
        resultado = dato1 - dato2;
    if (opcion == 'M')
        resultado = dato1 * dato2;
    if (opcion != 'R' && opcion != 'S' && opcion != 'M'){
        resultado = 0.0;
        resultado = resultado / resultado;    // NaN
    }

    cout << "\nResultado = " << resultado;
}
```

Las condiciones `opcion == 'S'`, `opcion == 'R'`, etc, son mutuamente excluyentes entre sí. Por lo tanto, para evitar evaluar innecesariamente las condiciones lógicas posteriores a la primera que sea `true`, en vez de usar estructuras condicionales simples consecutivas, usamos estructuras condicionales dobles anidadas:

```
if (opcion == 'S')
    resultado = dato1 + dato2;
else
    if (opcion == 'R')
        resultado = dato1 - dato2;
    else
        if (opcion == 'M')
            resultado = dato1 * dato2;
        else{
            resultado = 0.0;
        }
    resultado = resultado / resultado; // NaN
}
```

***Si debemos comprobar varias condiciones, todas ellas mutuamente excluyentes entre sí, usaremos estructuras condicionales dobles anidadas***

Una forma también válida de tabular:

```
if (opcion == 'S')
    resultado = dato1 + dato2;
else if (opcion == 'R')
    resultado = dato1 - dato2;
else if (opcion == 'M')
    resultado = dato1 * dato2;
else{
    resultado = 0.0;
}
resultado = resultado / resultado; // NaN
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_menu\\_operaciones.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_menu_operaciones.cpp)



## 11.1.5. Estructura condicional múltiple

Recordad el ejemplo de lectura de dos enteros y una opción de la página 142. Cuando tenemos que comprobar condiciones mutuamente excluyentes sobre un dato entero, podemos usar otra estructura alternativa.

```
switch (<expresión>) {  
    case <constante1>:   
        <sentencias1>  
        break;  
    case <constante2>:   
        <sentencias2>  
        break;  
    .....  
    [default:   
        <sentencias>]  
}
```

- ▷ <expresión> es un expresión entera.
- ▷ <constante i> ó <constante2> es un literal entero.
- ▷ switch sólo comprueba la igualdad.
- ▷ No debe haber dos casos con la misma <constante> en el mismo switch. Si esto ocurre, sólo se ejecutan las sentencias del caso que aparezca primero.
- ▷ El identificador especial default permite incluir un caso por defecto, que se ejecutará si no se cumple ningún otro. Se suele colocar como el último de los casos.

```
if (opcion == 'S')  
    resultado = dato1 + dato2;  
else if (opcion == 'R')  
    resultado = dato1 - dato2;  
else if (opcion == 'M')  
    resultado = dato1 * dato2;;  
else{  
    resultado = 0.0;  
    resultado = resultado / resultado;    // NaN  
}
```

es equivalente a:

```
switch (opcion){  
    case 'S':  
        resultado = dato1 + dato2;  
        break;  
    case 'R':  
        resultado = dato1 - dato2;  
        break;  
    case 'M':  
        resultado = dato1 * dato2;  
        break;  
    default:  
        resultado = 0.0;  
        resultado = resultado / resultado;    // NaN  
}
```

El gran problema con la estructura `switch` es que el programador olvidará en más de una ocasión, incluir la sentencia `break`. La única ventaja es que se pueden realizar las mismas operaciones para varias constantes:

```
cin >> opcion;

switch (opcion){
    case 'S':
        resultado = dato1 + dato2;
        break;
    case 'R':
        case 'r':
            resultado = dato1 - dato2;
            break;
    case 'M':
        case 'm':
            resultado = dato1 * dato2;
            break;
    default:
        resultado = 0.0;
        resultado = resultado / resultado; // NaN
}
```

**No olvide incluir los `break` en las opciones correspondientes de un `switch`.**

## II.1.6. Programando como profesionales

### II.1.6.1. Diseño de algoritmos fácilmente extensibles

**Ejemplo.** Calculad el mayor de tres números  $a$ ,  $b$  y  $c$  (primera aproximación).

**Algoritmo:** Mayor de tres números. Versión 1

▷ **Entradas:**  $a$ ,  $b$  y  $c$

**Salidas:** El mayor entre  $a$ ,  $b$  y  $c$

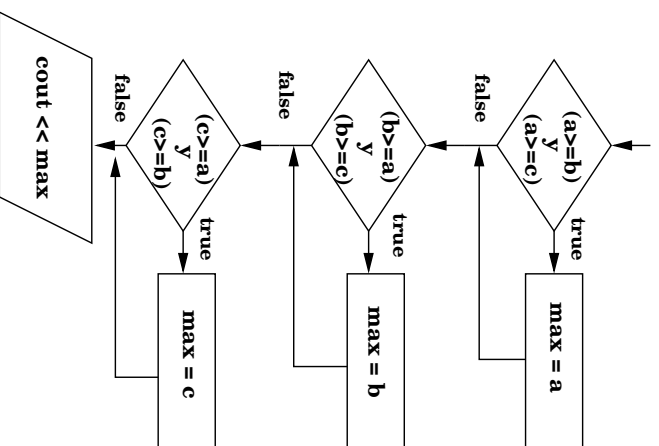
▷ **Descripción:**

Si  $a$  es mayor que los otros, el mayor es  $a$   
Si  $b$  es mayor que los otros, el mayor es  $b$   
Si  $c$  es mayor que los otros, el mayor es  $c$

▷ **Implementación:**

```
if ((a >= b) && (a >= c))
    max = a;
if ((b >= a) && (b >= c))
    max = b;
if ((c >= a) && (c >= b))
    max = c;
```





Inconvenientes:

- ▷ Al tener tres condicionales seguidos, siempre se evalúan las 6 expresiones lógicas. En cuanto hallemos el máximo deberíamos parar y no seguir preguntando.
- ▷ Podemos resolver el problema usando menos de 6 evaluaciones de expresiones lógicas.

### Ejemplo. El mayor de tres números (segunda aproximación)

**Algoritmo:** Mayor de tres números. Versión 2

▷ **Entradas y Salidas:** idem

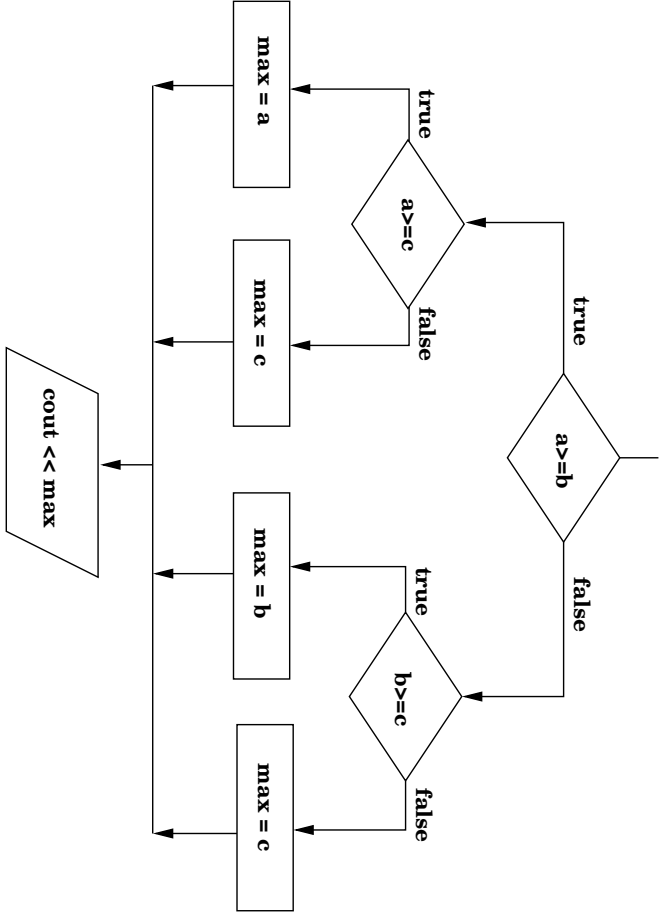
▷ **Descripción:**

Si a es mayor que b, entonces  
Calcular el máximo entre a y c  
En otro caso,  
Calcular el máximo entre b y c

▷ **Implementación:**

```

if (a >= b)
    if (a >= c)
        max = a;
    else
        max = c;
else
    if (b >= c)
        max = b;
    else
        max = c;
  
```



**Inconvenientes:**

- ▷ Repetimos código: `max = c;`
- ▷ La solución es difícil de extender a más valores.

**El mayor de cuatro números con la segunda aproximación:**

```
if (a >= b)
    if (a >= c)
        if (a >= d)
            max = a;
        else
            max = d;
    else
        if (c >= d)
            max = c;
        else
            max = d;
else
    if (b >= c)
        if (b >= d)
            max = b;
        else
            max = d;
    else
        if (c >= d)
            max = c;
        else
            max = d;
```





## Ejemplo. El mayor de tres números (tercera aproximación)

### Algoritmo: Mayor de tres números. Versión 3

▷ **Entradas y Salidas:** idem

▷ **Descripción e Implementación:**

```
/*
Calcular el máximo (max) entre a y b.
Calcular el máximo entre max y c.
*/

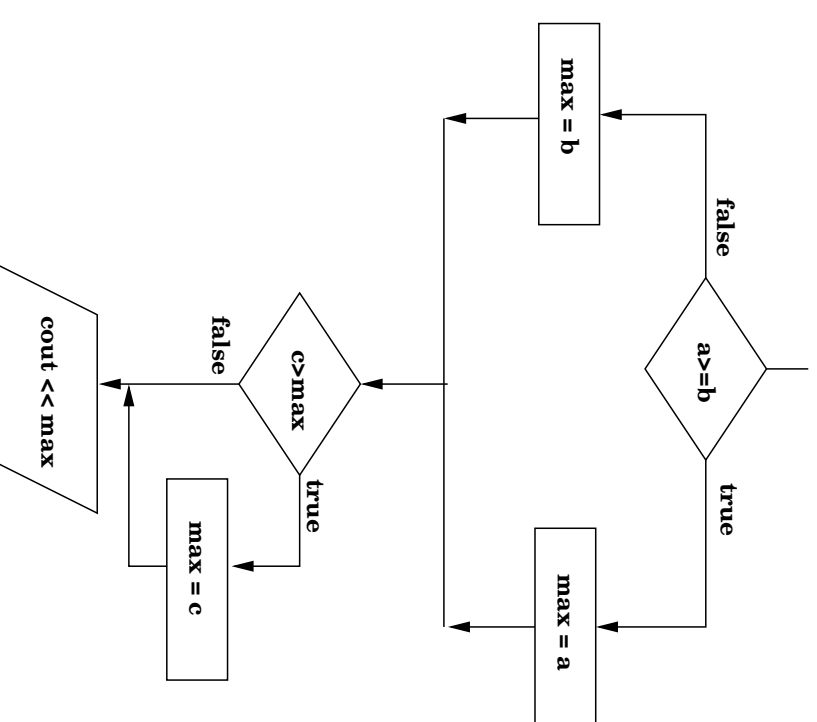
if (a >= b)
    max = a;
else
    max = b;

if (c >= max)
    max = c;
```

**Mejora:** Con el primer `if` garantizamos que la variable `max` tiene un valor (o bien a o bien b). Por tanto, en el otro condicional basta usar una desigualdad estricta:

```
if (a >= b)
    max = a;
else
    max = b;

if (c > max)
    max = c;
```



### Ventajas:

- ▷ Es mucho más fácil de entender
- ▷ No repite código
- ▷ Es mucho más fácil de extender a varios valores. Veamos cómo quedaría con cuatro valores:

### Algoritmo: Mayor de cuatro números

▷ **Entradas y Salidas:** idem

▷ **Descripción e Implementación:**

```
/*
Calcular el máximo (max) entre a y b.
Calcular el máximo entre max y c.
Calcular el máximo entre max y d.
*/

if (a >= b)
    max = a;
else
    max = b;

if (c > max)
    max = c;

if (d > max)
    max = d;
```



[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_max.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_max.cpp)

**En general:**

Calcular el máximo (max) entre a y b.  
Para cada uno de los valores restantes,  
max = máximo entre max y dicho valor.

**Diseñad los algoritmos para que sean fácilmente extensibles a situaciones más generales.**



### II.1.6.2. Descripción de un algoritmo

Se trata de describir la idea principal del algoritmo, de forma concisa y esquemática, sin entrar en detalles innecesarios.

```
if (a >= b)
    max = a;
else
    max = b;
```

```
if (c > max)
    max = c;
```

**Una lamentable descripción del algoritmo:**

*Compruebo si a>=b. En ese caso, lo que hago es asignarle a la variable max el valor a y si no le asigno el otro valor, b. Una vez hecho esto, paso a comprobar si el otro valor, es decir, c, es mayor que max (la variable anterior), en cuyo caso le asigno a max el valor c y si no, no hago nada.*

**El colmo:**

*Compruebo si a>=b y en ese caso lo que ago es asignarle a la variable max el valor a y sino le asigno el otro valor b una vez echo esto paso a comprobar si el otro valor es decir c es mayor que max (la variable anterior) en cuyo caso le asigno a max el valor c y sino no ago nada*



▷ **Nunca parafrasearemos el código**

```
/* Si a es >= b, asignamos a max el valor a
   En otro caso, le asignamos b.
   Una vez hecho lo anterior, vemos si
   c es mayor que max, en cuyo caso
   le asignamos c
*/

if (a >= b)
    max = a;
else
    max = b;

if (c > max)
    max = c;
```



▷ **Seremos esquemáticos (pocas palabras en cada línea)**

```
/* Calcular el máximo entre a y b, y una vez hecho
   esto, pasamos a calcular el máximo entre el anterior,
   al que llamaremos max, y el nuevo valor c
*/

/* Calcular el máximo (max) entre a y b.
   Calcular el máximo entre max y c.
*/
```



▷ **Comentaremos un bloque completo**

La descripción del algoritmo la incluiremos antes de un bloque, pero nunca entre las líneas del código. Esto nos permite separar las dos partes y poder leerlas independientemente.

```
// Calcular el máximo entre a y b
if (a >= b)
    max = a;
else
    // En otro caso:
    max = b;
// Calcular el máximo entre max y c
if (c > max)
    max = c;
```



Algunos autores incluyen la descripción a la derecha del código, pero es mucho más difícil de mantener (si incluimos líneas de código nuevas, se *descompone* todo el comentario):

```
if (a >= b)           // Calcular el máximo
    max = a;         // entre a y b
else
    max = b;

if (c > max)          // Calcular el máximo
    max = c;         // entre max y c
```





Usad descripciones de algoritmos que sean **CONCISAS** con una presentación visual agradable y esquemática.

No se hará ningún comentario de aquello que sea obvio.  
Más vale poco y bueno que mucho y malo.

Las descripciones serán de un **BLOQUE** completo.

Sólo se usarán comentarios al final de una línea en casos puntuales, para aclarar el código de dicha línea.

No seguir estas normas baja puntos en el examen.

### II.1.6.3. Las expresiones lógicas y el principio de una única vez

Según el principio de una única vez (página 95) no debemos repetir el código de una expresión en distintas partes del programa, si ésta no varía. Lo mismo se aplica si es una expresión lógica.

*Ejemplo.* Retomamos el ejemplo de subir la nota de la página 130. Imprimos un mensaje específico si ha superado el examen escrito:

```
double nota_escrito;

.....
if (nota_escrito >= 4.5){
    nota_escrito = nota_escrito + 0.5;

    if (nota_escrito > 10)
        nota_escrito = 10;
}

.....
if (nota_escrito >= 4.5)
    cout << "Examen escrito superado con la nota: " << nota_escrito;

.....
```



Si cambiamos el criterio a que sea mayor estricto, debemos modificar el código de dos líneas. Para resolverlo, introducimos una variable lógica:

```
double nota_escrito;
bool escrito_superado;
.....
escrito_superado = nota_escrito >= 4.5;

if (escrito_superado) {
    nota_escrito = nota_escrito + 0.5;

    if (nota_escrito > 10)
        nota_escrito = 10;
}
.....
if (escrito_superado)
    cout << "Examen escrito superado con la nota: " << nota_escrito;
.....
```



*El uso de variables intermedias para determinar criterios nos ayuda a no repetir código y facilita la legibilidad de éste. Se les asigna un valor en un bloque y se observa su contenido en otro.*

### Ejemplo. Consideremos la solución del ejercicio de la página 137

```
if (16 <= edad && edad < 18)
    bonificacion = 0.02;
else{
    if (edad <= 35)
        if (meses_trabajados <= 3)
            bonificacion = 0.08;
        else
            bonificacion = 0.04;
    else
        if (meses_trabajados <= 6)
            bonificacion = 0.05;
        else
            bonificacion = 0.03;
}
```



Supongamos que el criterio de experiencia previa considera el mismo número de meses (6) como umbral, independientemente de la edad:

```
if (16 <= edad && edad < 18)
    bonificacion = 0.02;
else{
    if (edad <= 35)
        if (meses_trabajados <= 6)
            bonificacion = 0.08;
        else
            bonificacion = 0.04;
    else
        if (meses_trabajados <= 6)
            bonificacion = 0.05;
        else
            bonificacion = 0.03;
}
```

Si ahora el criterio cambiase a que el número de meses de umbral fuese 4, por ejemplo, habría que modificar dos líneas de código, lo que viola el principio de una única vez. Para resolverlo, introducimos variables lógicas por cada una de las condiciones.



162

```
bool en_edad_aprendiz;  
bool en_edad_joven;  
bool es_menor_edad;  
bool tiene_poca_experiencia;  
  
.....  
es_menor_edad = edad < 18;                // [16,18)  
en_edad_aprendiz = 16 <= edad && es_menor_edad;    // [18,35]  
en_edad_joven = !es_menor_edad && edad <= 35;  
tiene_poca_experiencia = meses_trabajados <= 6;  
  
if (en_edad_aprendiz)  
    bonificacion = 0.02;  
else  
    if (en_edad_joven)  
        if (tiene_poca_experiencia)  
            bonificacion = 0.08;  
        else  
            bonificacion = 0.04;  
    else  
        if (tiene_poca_experiencia)  
            bonificacion = 0.05;  
        else  
            bonificacion = 0.03;  
}
```

Y mejor si usamos constantes en vez de literales, según vimos en la página 32:



```
const double BONIF_BAJA      = 0.2;  
const double BONIF_MEDIA_BAJA = 0.3;  
const double BONIF_MEDIA     = 0.4;  
const double BONIF_MEDIA_ALTA = 0.5;  
const double BONIF_ALTA      = 0.8;  
const int MAYORIA_EDAD      = 18;  
const int EDAD_MINIMA_TRABAJAR = 16;  
const int LIMITE_JOVEN      = 35;  
const int LIMITE_MESES_SIN_EXPERIENCIA = 6;  
  
bool en_edad_aprendiz, en_edad_joven, es_menor_edad;  
bool tiene_poca_experiencia;  
  
.....  
es_menor_edad = edad < MAYORIA_EDAD;  
en_edad_aprendiz = EDAD_MINIMA_TRABAJAR <= edad && es_menor_edad;  
en_edad_joven = !es_menor_edad && edad <= LIMITE_JOVEN;  
tiene_poca_experiencia = meses_trabajados <= LIMITE_MESES_SIN_EXPERIENCIA;  
  
if (en_edad_aprendiz)  
    bonificacion = BONIF_BAJA;  
else  
    if (en_edad_joven)  
        if (tiene_poca_experiencia)  
            bonificacion = BONIF_ALTA;  
        else  
            bonificacion = BONIF_MEDIA;  
    else  
        if (tiene_poca_experiencia)  
            bonificacion = BONIF_MEDIA_ALTA;  
        else  
            bonificacion = BONIF_MEDIA_BAJA;  
}
```

```
cout << "\nBonificación final: " << bonificacion;
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL\\_bonificacion.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL_bonificacion.cpp)

#### II.1.6.4. Separación de entradas/salidas y cálculos

En temas posteriores se introducirán herramientas para aislar en módulos (clases, funciones, etc) bloques de código. Será importante que los módulos que hagan entradas y salidas de datos no realicen cálculos ya que, de esta forma:

- ▷ Se separan responsabilidades.  
Cada módulo puede actualizarse de forma independiente.

- ▷ Se favorece la reutilización entre plataformas (Linux, Windows, etc).

Las E/S en Windows son distintas que en modo consola, por lo que los módulos serán distintos. Pero el módulo de cálculos será el mismo y podrá reutilizarse.

Por ahora, trabajamos en un único fichero y sin módulos. Pero al menos, perseguiremos el objetivo de separar E/S y C, separando los bloques de código de cada parte.

Los bloques que realizan entradas o salidas de datos (`cin`, `cout`) estarán separados de los bloques que realizan cálculos.

El uso de variables intermedias nos ayuda a separar los bloques de E/S y C. Se les asigna un valor en un bloque y se observa su contenido en otro.



**Ejemplo.** Retomamos los ejemplos de la página 115. Para no mezclar E/S y C, debemos sustituir el código siguiente:

```
// Cómputos mezclados con la salida de resultados: 😊

if (entero % 2 == 0)
    cout << "\nEs par";
else
    cout << "\nEs impar";

cout << "\nFin del programa";

por:

bool es_par;
.....
// Cómputos: 😊

es_par = entero % 2 == 0;

// Salida de resultados:

if (es_par)
    cout << "\nEs par";
else
    cout << "\nEs impar";

cout << "\nFin del programa";
```

**De la misma forma, cambiaremos el código siguiente:**

```
// Cómputos mezclados con la salida de resultados: 😊

if (dato >= inferior && dato <= superior)
    cout << "\nEl valor " << dato << " está dentro del intervalo";
else
    cout << "\nEl valor " << dato << " está fuera del intervalo";

por:

bool pertenece_al_intervalo;
.....
// Cómputos: 😊

pertenece_al_intervalo = dato >= inferior && dato <= superior;

// Salida de resultados:

if (pertenece_al_intervalo)
    cout << "\nEl valor " << dato << " está dentro del intervalo";
else
    cout << "\nEl valor " << dato << " está fuera del intervalo";
```




## ¿Y si utilizamos un dato de tipo string?

```
string pertenece_al_intervalo;
.....
// Cómputos:

if (dato >= inferior && dato <= superior)
    pertenece_al_intervalo = "está dentro";
else
    pertenece_al_intervalo = "está fuera";

// Salida de resultados:

if (pertenece_al_intervalo == "esta dentro")
    cout << "\nEl valor " << dato << " está dentro del intervalo";
else
    cout << "\nEl valor " << dato << " está fuera del intervalo";
```



## ¿Localiza el error?


```
string tipo_de_entero;
.....
// Cómputos:

if (entero % 2 == 0)
    tipo_de_entero = "es par"
else
    tipo_de_entero = "es impar";

// Salida de resultados:

if (tipo_de_entero == "es_par")
    cout << "\nEs par";
else
    cout << "\nEs impar";

cout << "\nFin del programa";
```



## ¿Localiza el error?

***Jamás usaremos un tipo string para detectar un número limitado de alternativas posibles ya que es propenso a errores.***

**Ejemplo.** Retomamos el ejemplo de la edad y altura de una persona de la página 134. Para separar E/S y Cómputos, introducimos variables intermedias.



```
int main(){
    const int MAYORIA_EDAD = 18,
            UMBRAL_ALTURA_JOVENES = 175,
            UMBRAL_ALTURA_ADULTOS = 190;
    int edad, altura;
    bool es_alto, es_mayor_edad, umbral_altura;

    // Entrada de datos:

    cout << "Introduzca los valores de edad y altura: ";
    cin >> edad;
    cin >> altura;

    // Cómputos:

    es_mayor_edad = edad >= MAYORIA_EDAD;

    if (es_mayor_edad)
        umbral_altura = UMBRAL_ALTURA_ADULTOS;
    else
        umbral_altura = UMBRAL_ALTURA_JOVENES;

    es_alto = altura >= umbral_altura;
```

```
// Salida de resultados:

cout << "\n\n";

if (es_mayor_edad)
    cout << "Es mayor de edad";
else
    cout << "Es menor de edad";

if (es_alto)
    cout << "Es alto/a";
else
    cout << "No es alto/a";
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_altura.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_altura.cpp)

### II.1.6.5. El tipo enumerado y los condicionales

Hay situaciones en las que necesitamos manejar información que sólo tiene unos cuantos valores posibles.

- ▷ Calificación ECTS de un alumno: {A, B, C, D, E, F, G}
- ▷ Tipo de letra: {es mayúscula, es minúscula, es otro carácter}
- ▷ Puesto alcanzado en la competición: {primero, segundo, tercero}
- ▷ Día de la semana: {lunes, ..., domingo}
- ▷ Categoría laboral de un empleado: {administrativo, programador, analista, directivo}
- ▷ Tipo de ecuación de segundo grado: {una única raíz, ninguna solución, ...}

Opciones con lo que conocemos hasta ahora:

- ▷ Una variable de tipo `char` o `int`. El inconveniente es que el código es propenso a errores:

```
char categoria_laboral;

categoria_laboral = 'a';           // Analista
categoria_laboral = 'm';           // administrativo
categoria_laboral = 'x';           // Categoría inexistente
if (categoria_laboral == 'w')      // Categoría inexistente
    .....
```

- ▷ Un dato `bool` por cada categoría:

```
bool es_administrativo, es_programador,
     es_analista, es_directivo;
```

**Inconvenientes: Debemos manejar cuatro variables por separado y además representan 8 opciones distintas, en vez de cuatro.**

**Solución:** Usar un tipo enumerado. A un dato de tipo *enumerado* (*enumeration*) sólo se le puede asignar un número muy limitado de valores. Éstos son especificados por el programador. Son tokens formados siguiendo las mismas reglas que las usadas para los nombres de los datos. Primero se define el *tipo* (lo haremos antes del `main`) y luego la variable de dicho tipo.

```
#include <iostream>
using namespace std;

enum class CalificacionECTS
    {A, B, C, D, E, F, G}; // No van entre comillas!

enum class PuestoPodium
    {primero, segundo, tercero};

enum class Categoriailaboral
    {administrativo, programador, analista, directivo};

int main(){
    CalificacionECTS nota;
    PuestoPodium podium;
    Categoriailaboral categoria_laboral;

    nota          = CalificacionECTS::A;
    podium        = PuestoPodium::primero;
    categoria_laboral = Categoriailaboral::programador;

    // Las siguientes sentencias dan error de compilación
    // categoria_laboral = Categoriailaboral::peon
    // categoria_laboral = peon;
    // categoria_laboral = 'a';
    // cin >> categoria_laboral;

    .....
```

¿Qué operaciones se pueden hacer sobre un enumerado? Por ahora, sólo tiene sentido la comparación de igualdad.

*El tipo enumerado puede verse como una extensión del tipo `bool` ya que nos permite representar más de dos opciones excluyentes.*



**Ejercicio.** Modificad el código del programa que calcula las raíces de una ecuación de segundo grado (página 135) para separar las E/S de los cálculos. Debemos introducir una variable de tipo enumerado que nos indique el tipo de ecuación (una única raíz doble, dos raíces reales, etc)

```
#include <iostream>
#include <cmath>
using namespace std;

enum class TipoEcuacion
{
    una_raiz_doble, dos_raices_reales, ninguna_raiz_real,
    recta_con_una_raiz, no_es_ecuacion};

int main(){
    int a, b, c;
    int denominador;
    double radical, radicando, raiz1, raiz2;
    TipoEcuacion tipo_ecuacion;

    // Entrada de datos:

    cout << "\nIntroduce coeficiente de segundo grado: ";
    cin >> a;
    cout << "\nIntroduce coeficiente de 1er grado: ";
    cin >> b;
    cout << "\nIntroduce coeficiente independiente: ";
    cin >> c;

    // Cálculos:

    if (a != 0) {
        denominador = 2*a;
        radicando = b*b - 4*a*c;
```

```
    if (radicando == 0){
        raiz1 = -b / denominador;
        tipo_ecuacion = TipoEcuacion::una_raiz_doble;
    }
    else{
        if (radicando > 0){
            radical = sqrt(radicando);
            raiz1 = (-b + radical) / denominador;
            raiz2 = (-b - radical) / denominador;
            tipo_ecuacion = TipoEcuacion::dos_raices_reales;
        }
        else
            tipo_ecuacion = TipoEcuacion::ninguna_raiz_real;
    }
}
else{
    if (b != 0){
        raiz1 = -c / b;
        tipo_ecuacion = TipoEcuacion::recta_con_una_raiz;
    }
    else
        tipo_ecuacion = TipoEcuacion::no_es_ecuacion;
}

// Salida de Resultados:

cout << "\n\n";

switch (tipo_ecuacion){
    case TipoEcuacion::una_raiz_doble:
        cout << "Sólo hay una raíz doble: " << raiz1;
        break;
    case TipoEcuacion::dos_raices_reales:
```

```
        cout << "Las raíces son: " << raiz1 << " y " << raiz2;
        break;
    case TipoEcuacion::ninguna_raiz_real:
        cout << "No hay raíces reales.";
        break;
    case TipoEcuacion::recta_con_una_raiz:
        cout << "Es una recta. La única raíz es: " << raiz1;
        break;
    case TipoEcuacion::no_es_ecuacion:
        cout << "No es una ecuación.";
        break;
    }
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL/ecuacion\\_segundo\\_grado.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL/ecuacion_segundo_grado.cpp)

**Ampliación:**

Observad que la lectura con `cin` de un enumerado (`cin >> categoria_laboral;`) produce un error en tiempo de ejecución. ¿Cómo leemos entonces los valores de un enumerado desde un dispositivo externo? Habrá que usar una codificación (con caracteres, enteros, etc) y traducirla al enumerado correspondiente.

```
enum class CategoricalLaboral
{administrativo, programador, analista, directivo};

int main(){
    CategoricalLaboral categoria_laboral;
    char caracter_categoria_laboral;
    .....
    cin >> caracter_categoria_laboral;

    if (caracter_categoria_laboral == 'm')
        categoria_laboral = CategoricalLaboral::administrativo
    else if (caracter_categoria_laboral == 'p')
        categoria_laboral = CategoricalLaboral::programador
    else if .....
    .....
    if (caracter_categoria_laboral == CategoricalLaboral::administrativo)
        retencion_fiscal = RETENCION_BAJA;
    else if (caracter_categoria_laboral == CategoricalLaboral::programador)
        retencion_fiscal = RETENCION_MEDIA;

    salario_neto = salario_bruto - salario_bruto * retencion_fiscal/100.0
```

Es cierto que en el código anterior, tenemos que usar literales de carácter concretos, lo cual es propenso a errores. Pero una vez leídos los datos y hecha la transformación al enumerado correspondiente, nunca más volveremos a usar los caracteres sino la variable de tipo enumerado.

**II.1.6.6. Simplificación de expresiones compuestas: Álgebra de Boole**

Debemos intentar simplificar las expresiones lógicas, para que sean fáciles de entender. Usaremos las leyes del Álgebra de Boole, muy similares a las conocidas en Matemáticas elementales como:

$$-(a + b) = -a - b \quad a(b + c) = ab + ac$$

|               |            |                      |
|---------------|------------|----------------------|
| !(A    B)     | equivale a | !A && !B             |
| !(A && B)     | equivale a | !A    !B             |
| A && (B    C) | equivale a | (A && B)    (A && C) |
| A    (B && C) | equivale a | (A    B) && (A    C) |

**Nota.** Las dos primeras (relativas a la negación) se conocen como *Leyes de Morgan*. Las dos siguientes son la ley distributiva (de la conjunción con respecto a la disyunción y viceversa).

**Ampliación:**

Consultad:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Algebra\\_booleana](http://es.wikipedia.org/wiki/Algebra_booleana)  
<http://serbal.putic.mec.es/~cmmnoz11/boolle.pdf>

**Ejemplo.** Sobre el ejemplo de la página 162, supongamos que nos hubiesen dicho que una persona es un aprendiz si su edad no está por debajo de 16 (estricto) o por encima de 18:

```
en_edad_aprendiz = !(edad < 16 || 18 <= edad); // Difícil de entender
```

**Aplicando las leyes de Morgan:**

```
!(edad < 16 || 18 <= edad)
equivale a
!(edad < 16) && !(18 <= edad)
equivale a
(16 <= edad) && (edad < 18)
```

**Obviamente, resulta mucho más intuitivo poner:**

```
en_edad_aprendiz = (16 <= edad) && (edad < 18);
```

que:

```
en_edad_aprendiz = !(edad < 16 || 18 <= edad);
```

**Además, como la comparación con 18 se usaba en varios sitios, introducimos la variable lógica es\_menor\_edad.**

```
es_menor_edad = edad < MAYORIA_EDAD;
en_edad_aprendiz = EDAD_MINIMA TRABAJAR <= edad && es_menor_edad;
```

*Fomentad la simplificación de las expresiones lógicas.*

**Ejemplo.** Es un contribuyente especial si la edad está entre 16 y 65 y sus ingresos están por debajo de 7000 o por encima de 75000 euros.

```
bool es_contribuyente_especial;
.....
es_contribuyente_especial =
    (16 <= edad && edad <= 65 && ingresos < 7000)
    ||
    (16 <= edad && edad <= 65 && ingresos > 75000);
```

**Para simplificar la expresión, sacamos factor común y aplicamos la ley distributiva:**

```
bool es_contribuyente_especial;
.....
es_contribuyente_especial =
    (16 <= edad && edad <= 65) && (ingresos < 7000 || ingresos > 75000);
```

**De esta forma, no repetimos la expresión edad >= 16 && edad <= 65. Y mejoramos el código usando variables lógicas para cada concepto:**

```
const int LIMITE_SUP_INGRESOS_BAJOS = 7000;
const int LIMITE_INF_INGRESOS_ALTOS = 75000;
const int EDAD_MINIMA_TRABAJAR = 16;
const int EDAD_MAXIMA_TRABAJAR = 65;
bool es_contribuyente_especial, en_edad_laboral;
bool tiene_ingresos_bajos, tiene_ingresos_altos;
.....
en_edad_laboral =
    EDAD_MINIMA TRABAJAR <= edad && edad <= EDAD_MAXIMA TRABAJAR;
tiene_ingresos_bajos = ingresos < LIMITE_SUP_INGRESOS_BAJOS;
tiene_ingresos_altos = ingresos > LIMITE_INF_INGRESOS_ALTOS;
es_contribuyente_especial =
    en_edad_laboral && (tiene_ingresos_bajos || tiene_ingresos_altos)
```



Algunas citas sobre la importancia de escribir código que sea fácil de entender:

"Any fool can write code that a computer can understand. Good programmers write code that humans can understand".  
Martin Fowler

"Programs must be written for people to read, and only incidentally for machines to execute".  
Abelson & Sussman

"Always code as if the guy who ends up maintaining your code will be a violent psychopath who knows where you live".

Un principio de programación transversal:

**Principio de Programación:**  
**Sencillez (Simplicity)**  
**Fomentad siempre la sencillez y la legibilidad en la escritura de código**

"There are two ways of constructing a software design: One way is to make it so simple that there are obviously no deficiencies, and the other way is to make it so complicated that there are no obvious deficiencies. The first method is far more difficult.".  
C.A.R. Hoare



## II.1.7. Algunas cuestiones sobre condicionales

### II.1.7.1. Cuidado con la comparación entre reales

La expresión  $1.0 == (1.0/3.0)*3.0$  podría evaluarse a false debido a la precisión finita para calcular  $(1.0/3.0)$  (0.33333333)

Otro ejemplo:

```
double raiz_de_dos;
```

```
raiz_de_dos = sqrt(2.0);
```

```
if (raiz_de_dos * raiz_de_dos != 2.0) // Podría evaluarse a true
    cout << "¡Raíz de dos al cuadrado no es igual a dos!";
```

Otro ejemplo:

```
double descuento_base, porcentaje;
```

```
descuento_base = 0.1;
```

```
porcentaje = descuento_base * 100;
```

```
if (porcentaje == 10.0) // Podría evaluarse a false :-0
    cout << "Descuento del 10%";
```

Recordad que la representación en coma flotante no es precisa, por lo que 0.1 será internamente un valor próximo a 0.1, pero no igual.



### Soluciones:

- ▷ Fomentar condiciones de desigualdad cuando sea posible.
- ▷ Fijar un *error* de precisión y aceptar igualdad cuando la diferencia de las cantidades sea menor que dicho error.

```
double real1, real2;
const double epsilon = 0.00001;
```

```
if (real1 - real2 < epsilon)
    cout << "Son iguales";
```

Para una solución aún mejor consultad:

<https://randomascii.wordpress.com/2012/02/25/comparing-floating-point-numbers-2012-edition/>

### II.1.7.2. Evaluación en ciclo corto y en ciclo largo

**Evaluación en ciclo corto (*Short-circuit evaluation*)** : El compilador optimiza la evaluación de expresiones lógicas evaluando sus términos de izquierda a derecha hasta que sabe el resultado de la expresión completa (lo que significa que puede dejar términos sin evaluar). La mayoría de los compiladores realizan este tipo de evaluación por defecto.

**Evaluación en ciclo largo (*Eager evaluation*)** : El compilador evalúa todos los términos de la expresión lógica para conocer el resultado de la expresión completa.

#### Ejemplo.

```
if ( (a>0) && (b<0) && (c<1) ) ...
```

Supongamos a = -3.

- ▷ *Ciclo largo*: El compilador evalúa (innecesariamente) todas las expresiones lógicas
- ▷ *Ciclo corto*: El compilador evalúa sólo la primera expresión lógica.

Por lo tanto, pondremos primero aquellas condiciones que sean más probables de evaluarse como `false`

**Nota.** Lo mismo pasa cuando el operador es `||`

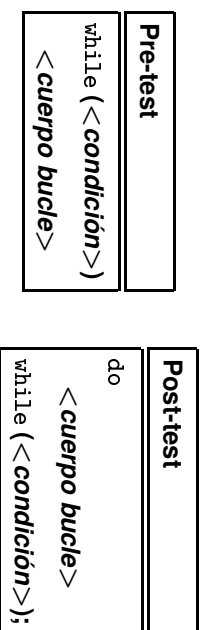
## II.2. Estructuras repetitivas

Una *estructura repetitiva (iteration/loop)* (también conocidas como *bucles, ciclos o lazos*) permite la ejecución de una secuencia de sentencias:

- o bien, hasta que se satisface una determinada condición → *Bucle controlado por condición (Condition-controlled loop)*
- o bien, un número determinado de veces → *Bucle controlado por contador (Counter controlled loop)*

### II.2.1. Bucles controlados por condición: pre-test y post-test

#### II.2.1.1. Formato



**Funcionamiento:** En ambos, se va ejecutando el cuerpo del bucle mientras la condición sea verdad.

- ▷ En un *bucle pre-test (pre-test loop)* (`while`) se evalúa la condición antes de entrar al bucle y luego (en su caso) se ejecuta el cuerpo.
- ▷ En un *bucle post-test (post-test loop)* (`do while`) primero se ejecuta el cuerpo y luego se evalúa la condición.

Cada vez que se ejecuta el cuerpo del bucle diremos que se ha producido una *iteración (iteration)*

Al igual que ocurre en la estructura condicional, si los bloques de instrucciones contienen más de una línea, debemos englobarlos entre llaves. En el caso de que se use la estructura repetitiva post-test se recomienda usar el siguiente estilo:

```
do{  
    <cuerpo bucle>  
}while (<condición>);
```



en vez de:

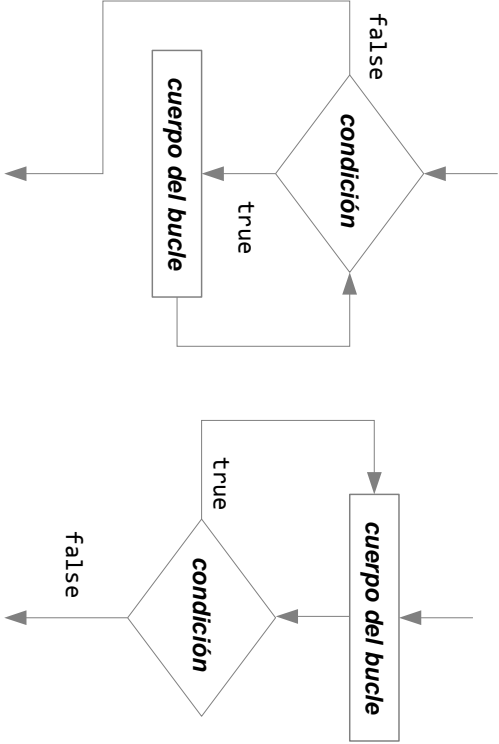
```
do{  
    <cuerpo bucle>  
}  
while (<condición>);
```



ya que, en la segunda versión, si no vemos las instrucciones antes del `while`, da la impresión que éste es un pre-test.

**Bucle pre-test**

**Bucle post-test**



**II.2.1.2. Algunos usos de los bucles**

**Ejemplo.** Crear un *filtro (filter)* de entrada de datos: Leer un valor y no permitir al usuario que lo introduzca fuera de un rango determinado.

```
// Introducir un único valor, pero positivo.  
// Imprimir la raíz cuadrada.  
  
#include <iostream>  
#include <cmath>  
using namespace std;  
  
int main(){  
    double valor;  
    double raiz_de_valor;  
  
    do{  
        cout << "\nIntroduzca un valor positivo: ";  
        cin >> valor;  
    }while (valor < 0);  
  
    raiz_de_valor = sqrt(valor);  
    .....  
}
```

**Nota:**

El filtro anterior no nos evita todos los posibles errores. Por ejemplo, si se introduce un valor demasiado grande, se produce un desbordamiento y el resultado almacenado en `valor` es indeterminado.

**Nota:**

Observad que el estilo de codificación se rige por las mismas normas que las indicadas en la estructura condicional (página 107)

**Ejemplo.** Escribir 20 líneas con 5 estrellas cada una.

```
.....
int num_lineas;

num_lineas = 1;

do{
    cout << '\n' << "*****" ;
    num_lineas = num_lineas + 1;      // nuevo = antiguo + 1
}while (num_lineas <= 20);
```

**O bien:**

```
num_lineas = 0;

do{
    cout << '\n' << "*****" ;
    num_lineas = num_lineas + 1;
}while (num_lineas < 20);
```

**O bien:**

```
num_lineas = 1;

while (num_lineas <= 20){
    cout << '\n' << "*****" ;
    num_lineas = num_lineas + 1;
}
```

**Preferible:**

```
num_lineas = 0;      // Llevo 0 líneas impresas

while (num_lineas < 20){
    cout << '\n' << "*****" ;
    num_lineas = num_lineas + 1;
}
```

**Dentro del bucle, JUSTO antes de comprobar la condición, la variable total contiene el número de líneas que hay impresas 😊**

**Nota:**

Podríamos usar el operador de incremento:

```
while (num_lineas < 20){
    cout << '\n' << "*****" ;
    num_lineas++;
}
```

Elección entre un bucle pre-test o post-test: ¿Hay situaciones en las que no queremos que se ejecute el cuerpo del bucle?

Si  $\Rightarrow$  pre-test

No  $\Rightarrow$  post-test

**Ejercicio.** Leer un número positivo tope e imprimir tope líneas con 5 estrellas cada una.

```
cout << "\n¿Cuántas líneas de asteriscos quiere imprimir? ";
do{
    cin >> tope;
}while (tope < 0);

num_lineas = 0;

do{
    cout << '\n' << "*****" ;
    num_lineas++;
}while (num_lineas < tope);
```

**Problema:** ¿Qué ocurre si tope = 0?

**Ejercicio.** Resolved el problema anterior con un bucle pre-test

**Consejo:** Fomentad el uso de los bucles pre-test. Lo usual es que haya algún caso en el que no queramos ejecutar el cuerpo del bucle ni siquiera una vez.



**Ejercicio.** Calculad el número de dígitos que tiene un entero

57102 -> 5 dígitos  
45 -> 2 dígitos

**Algoritmo:** Número de dígitos de un entero.

- ▷ **Entradas:** n
- ▷ **Salidas:** num\_dígitos
- ▷ **Descripción e implementación:**

Ir dividiendo n por 10 hasta llegar a una cifra  
El número de dígitos será el número de iteraciones  
num\_dígitos = 1;

```
while (n > 9){
    n = n/10;
    num_dígitos++;
}
```

**Mejor si no modificamos la variable original:**

```
n_dividido = abs(n); // valor absoluto
num_dígitos = 1;

while (n_dividido > 9){
    n_dividido = n_dividido/10;
    num_dígitos++;
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL\\_numero\\_de\\_digitos.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL_numero_de_digitos.cpp)

**Ejemplo.** Leer un entero `tope` positivo y escribid los pares  $\leq$  `tope`

```
do{
    cin >> tope
}while (tope < 0);

par = 0;           // Primer candidato

while (par <= tope){
    par = par + 2;
    cout << par << " ";
}
```

**Al final, escribe uno más. Cambiamos el orden de las instrucciones:**

```
do{
    cin >> tope
}while (tope < 0);

par = 0;           // Primer candidato

while (par <= tope){ // ¿Es bueno?
    cout << par;      // Si => Imprimelo
    par = par + 2;    // Calcular nuevo candidato
}                   // No => Salir
```

**Si no queremos que salga 0, cambiaríamos la inicialización:**

```
par = 2;           // Primer candidato
```

*En el diseño de los bucles siempre hay que comprobar el correcto funcionamiento en los casos extremos (primera y última iteración)*

### 11.2.1.3. Bucles con lectura de datos

En muchas ocasiones leeremos datos desde un dispositivo y tendremos que controlar una condición de parada. Habrá que controlar especialmente el primer y último valor leído.

**Ejemplo.** Realizad un programa que sume una serie de valores leídos desde teclado, hasta que se lea el valor -1 (terminador = -1)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    const int TERMINADOR = -1;
    int suma, numero;

    suma = 0;

    do{
        cin >> numero;
        suma = suma + numero;
    }while (numero != TERMINADOR);

    cout << "\nLa suma es " << suma;
}
```

**Caso problemático:** El último. Procesa el -1 y lo suma.

### Una primera solución:

```
do{  
    cin >> numero;  
    if (numero != TERMINADOR)  
        suma = suma + numero;  
}while (numero != TERMINADOR);
```



Funciona, pero evalúa dos veces la misma condición, lo cual es ineficiente y, mucho peor, duplica código al repetir la expresión `numero != TERMINADOR`.

### Soluciones:

- ▷ Técnica de *lectura anticipada*. Leemos el primer valor antes de entrar al bucle y comprobamos si hay que procesarlo (el primer valor podría ser ya el terminador)
- ▷ Usando variables lógicas.

### Solución con *lectura anticipada*:

```
suma = 0;  
cin >> numero;  
  
while (numero != TERMINADOR) {  
    suma = suma + numero;  
    cin >> numero;  
}  
  
cout << "\nLa suma es " << suma;
```



[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_suma\\_lectura\\_anticipada.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_suma_lectura_anticipada.cpp)

### A tener en cuenta:

- ▷ La primera vez que entra al bucle, la instrucción `while (numero != TERMINADOR)` hace las veces de un condicional. De esta forma, controlamos si hay que procesar o no el primer valor.
- ▷ Si el primer valor es el terminador, el algoritmo funciona correctamente.
- ▷ Hay cierto código repetido `cin >> numero;`, pero es aceptable. Mucho peor es repetir la expresión `numero != TERMINADOR` ya que es mucho más fácil que pueda cambiar en el futuro (porque cambie el criterio de parada)
- ▷ Dentro de la misma estructura repetitiva estamos mezclando las entradas (`cin >> numero;`) de datos con los cálculos (`suma = suma + numero;`), violando lo visto en la página 164. Por ahora no podemos evitarlo, ya que necesitaríamos almacenar los valores en un dato compuesto, para luego procesarlo. Lo resolveremos con el uso de vectores en el tema III.

**Solución con una variable lógica:**

```
bool seguir_leyendo;
```

```
do{ 
```

```
    cin >> numero;           // Leemos candidato
```

```
    seguir_leyendo = (numero != TERMINADOR);
```

```
    if (seguir_leyendo)        // Comprobamos si es el terminador
        suma = suma + numero;  // Lo procesamos
}while (seguir_leyendo);
```

Esta solución es un poco más ineficiente que la lectura anticipada ya que repetimos la observación de la variable `seguir_leyendo` (en el `if` y en el `while`). En cualquier caso, la expresión que controla la condición de parada (`numero != TERMINADOR`); sólo aparece en un único sitio, por lo que si cambiase el criterio de parada, sólo habría que cambiar el código en dicho sitio.

*Para no repetir código en los bucles que leen datos, o bien usaremos la técnica de lectura anticipada o bien introduciremos variables lógicas que controlen la condición de terminación de lectura.*

**Ejercicio.** Ir leyendo enteros hasta llegar al cero. Imprimir el número de pares e impares leídos.

```
#include <iostream>
using namespace std;
int main(){
    int num_pares, num_impares, valor;
```

```
    num_pares = 0;
    num_impares = 0;
    cout << "\nIntroduce valor: ";
    cin >> valor;
```

```
    while (        ) {
        if (        )
            ;
        else
            cout << "\nIntroduce valor: ";
            cin >> valor;
    }
```

```
    cout << "\nFueron " << num_pares << " pares y "
         << num_impares << " impares";
}
```



### II.2.1.4. Bucles sin fin

**Ejemplo.** Imprimir los divisores de un valor.

```
int divisor, valor, tope;

cin >> valor;
tope = valor / 2;
divisor = 2;

while (divisor <= tope){
    if (tope % divisor == 0)
        cout << "\n" << divisor << " es un divisor de " << tope;
        divisor++;
}
```

**¿Qué pasa si introducimos un else?**

```
while (divisor <= tope){
    if (tope % divisor == 0)
        cout << "\n" << divisor << " es un divisor de " << tope;
    else
        divisor++;
}
```

**Es un bucle sin fin.**

**Garantizad que en algún momento, la condición del bucle se hace falsa.**

**Tened especial cuidado dentro del bucle con los condicionales que modifican alguna variable presente en la condición.**

**Ejemplo.** ¿Cuántas iteraciones se producen?

```
contador = 1;

while (contador != 10) {
    contador = contador + 2;
}
```

Llega al máximo entero representable (2147483647). Al sumar 2, se produce un desbordamiento, obteniendo -2147483647. Al ser impar nunca llegará a 10, por lo que se producirá de nuevo la misma situación y el bucle no terminará.

**Solución.** Fomentad el uso de condiciones de desigualdad:

```
contador = 1;

while (contador <= 10) {
    contador = contador + 2;
}
```

## II.2.2. Programando como profesionales

### II.2.2.1. Condiciones compuestas

Es normal que necesitemos comprobar más de una condición en un bucle. Dependiendo del algoritmo necesitaremos conectarlas con `&&` o con `||`.

**Ejemplo.** Leer una opción de un menú. Sólo se admite s ó n.

```
char opcion;
do{
    cout << "¿Desea formatear el disco?";
    cin >> opcion;
}while ( opcion != 's'    opcion != 'S',
        opcion != 'n'    opcion != 'N' );
```

¿Cuándo quiero salir del bucle? Cuando **cualquiera** de las condiciones sea false. ¿Cual es el operador que cumple lo siguiente?:

```
false  Operador <lo que sea> = false
true   Operador true      = true
```

Es el operador `&&`

Mejor aún:

```
do{
    cout << "Desea formatear el disco";
    cin >> opcion;
    opcion = toupper(opcion);
}while ( opcion != 'S' && opcion != 'N' );
```

**Ejemplo.** Calcular el máximo común divisor de dos números a y b.

**Algoritmo:** Máximo común divisor.

▷ **Entradas:** Los dos enteros a y b  
**Salidas:** el entero `max_com_div`, máximo común divisor de a y b

▷ **Descripción e Implementación:**

```
/* Primer posible divisor = el menor de ambos
Mientras divisor no divida a ambos,
probar con el anterior */

if (b < a)
    menor = b;
else
    menor = a;

divisor = menor;

while (a % divisor != 0 || b % divisor != 0)
    divisor --;

max_com_div = divisor;
```

¿Cuándo quiero salir del bucle? Cuando ambas condiciones, **simultáneamente**, sean false. En cualquier otro caso, entro de nuevo al bucle.

¿Cual es el operador que cumple lo siguiente?:

```
true  Operador <lo que sea> = true
false Operador false = false
```

Es el operador `||`

```
while (a % divisor != 0 || b % divisor != 0)
    divisor --;
```

```
max_com_div = divisor;
```

*En la construcción de bucles con condiciones compuestas, empezad planteando las condiciones simples que la forman. Pensad cuándo queremos salir del bucle y conectando de si nos queremos salir cuando todas simultáneamente sean false (conectamos con ||) o cuando cualquiera de ellas sea false (conectamos con &&)*

**Ejercicio.** ¿Qué pasaría si a y b son primos relativos?

El uso de variables lógicas hará que las condiciones sean más fáciles de entender:

```
bool mcd_encontrado;
```

```
.....
```

```
mcd_encontrado = false;
```

```
while (!mcd_encontrado){
    if (a % divisor == 0 && b % divisor == 0)
        mcd_encontrado = true;
    else
        divisor--;
}
```

```
max_com_div = divisor;
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL\\_maximo\\_comun\\_divisor.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL_maximo_comun_divisor.cpp)

**Ambas soluciones son equivalentes. Formalmente:**

```
a % divisor != 0 || b % divisor != 0
equivale a
!(a % divisor == 0 && b % divisor == 0)
```

*Diseñad las condiciones compuestas de forma que sean fáciles de leer*

**Ejercicio.** ¿Qué pasaría si quitásemos el else?

### II.2.2.2. Bucles que buscan

Una tarea típica en programación es buscar un valor. Si sólo estamos interesados en buscar uno, tendremos que salir del bucle en cuanto lo encontremos y así aumentar la eficiencia.

**Ejemplo.** Comprobar si un número entero positivo es primo. Debemos buscar un divisor suyo. Si lo encontramos, no es primo.

```
int valor, divisor;
bool es_primo;

cout << "Introduzca un numero natural: ";
cin >> valor;

es_primo = true;
divisor = 2

while (divisor < valor){
    if (valor % divisor == 0)
        es_primo = false;
        divisor++;
}

if (es_primo)
    cout << valor << " es primo\n";
else{
    cout << valor << " no es primo\n";
    cout << "\nSu primer divisor es: " << divisor;
}
```

**Funciona pero es ineficiente. Nos debemos salir del bucle en cuanto se-  
pamos que no es primo. Usamos la variable es\_primo.**

```
int main(){
    int valor, divisor;
    bool es_primo;

    cout << "Introduzca un numero natural: ";
    cin >> valor;

    es_primo = true;
    divisor = 2;

    while (divisor < valor && es_primo){
        if (valor % divisor == 0)
            es_primo = false;
        else
            divisor++;
    }

    if (es_primo)
        cout << valor << " es primo";
    else{
        cout << valor << " no es primo";
        cout << "\nSu primer divisor es: " << divisor;
    }
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_primo.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_primo.cpp)

**Los algoritmos que realizan una búsqueda, deben salir de ésta en cuanto se haya encontrado el valor. Normalmente, usaremos una variable lógica para controlarlo.**

### Nota:

Al usar `else` garantizamos que al salir del bucle, la variable `divisor` contiene el primer divisor de valor

### Ampliación:



Incluso podríamos quedarnos en `sqrt(valor)`, ya que si `valor` no es primo, tiene al menos un divisor menor que `sqrt(valor)`. En cualquier caso, `sqrt` es una operación costosa y habría que evaluar la posible ventaja en su uso.

```
es_primo = true;
tope = sqrt(1.0 * valor); // Necesario forzar casting a double
divisor = 2

while (divisor < tope && es_primo){
    if (valor % divisor == 0)
        es_primo = false;
    else
        divisor++;
}
```

### 11.2.2.3. Evaluación de expresiones dentro y fuera del bucle

En ocasiones, una vez terminado un bucle, debemos comprobar cuál fue la condición que hizo que éste terminase. Veamos cómo hacerlo correctamente.

**Ejemplo.** Desde un sensor se toman datos de la frecuencia cardíaca de una persona. Emitid una alarma cuando se encuentren fuera del rango [45, 120] indicando si es baja o alta.

```
int main(){
    const int MIN_LATIDOS = 45;
    const int MAX_LATIDOS = 120;
    int latidos;

    // La siguiente versión repite la evaluación dentro y fuera del bucle
    // de algunas expresiones equivalentes .
    do{
        cin >> latidos;
    }while (MIN_LATIDOS <= latidos && latidos <= MAX_LATIDOS);

    if (latidos < MIN_LATIDOS)
        cout << "\nNúmero de latidos anormalmente bajo: ";
    else
        cout << "\nNúmero de latidos anormalmente alto: ";

    cout << latidos;
}
```



**Se repite código ya que** `latidos < MIN_LATIDOS` **equivale a**  
`!(MIN_LATIDOS <= latidos)` **Para resolverlo, introducimos variables**  
**lógicas intermedias:**

```
int main(){
    const int MIN_LATIDOS = 45;
    const int MAX_LATIDOS = 120;
    int latidos;
    bool frecuencia_cardiaca_baja, frecuencia_cardiaca_alta;

    do{
        cin >> latidos;
        frecuencia_cardiaca_baja = latidos < MIN_LATIDOS;
        frecuencia_cardiaca_alta = latidos > MAX_LATIDOS;
    }while (!frecuencia_cardiaca_baja && !frecuencia_cardiaca_alta);

    if (frecuencia_cardiaca_baja)
        cout << "\nNúmero de latidos anormalmente bajo: ";
    else if (frecuencia_cardiaca_alta) // Realmente no es necesario el if
        cout << "\nNúmero de latidos anormalmente alto: ";

    cout << latidos;
}
```

Y mejor aún, podríamos usar un enumerado en vez de dos bool.

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_frecuencia\\_cardiaca.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_frecuencia_cardiaca.cpp)

**Si una vez que termina un bucle controlado por varias condiciones, necesitamos saber cuál de ellas hizo que terminase éste, introduciremos variables intermedias para determinarlo. Nunca repetiremos la evaluación de condiciones.**

#### 11.2.2.4. Bucles que no terminan todas sus tareas

**Ejemplo.** Queremos leer las notas de un alumno y calcular la media aritmética. El alumno tendrá un máximo de cuatro calificaciones. Si tiene menos de cuatro, introduciremos cualquier negativo para indicarlo.

```
suma = 0;
cin >> nota;
total_introducidos = 1;

while (nota >= 0 && total_introducidos <= 4){
    suma = suma + nota;
    cin >> nota;
    total_introducidos++;
}

media = suma/total_introducidos;
```

**Problema:** Lee la quinta nota y se sale, pero ha tenido que leer dicho valor.  
**Solución:** O bien cambiamos la inicialización de total\_introducidos a 0, o bien leemos hasta cuatro. En cualquier caso, el cuarto valor (en general el último) hay que procesarlo fuera del bucle.

```
suma = 0;
cin >> nota;
total_introducidos = 1;

while (nota >= 0 && total_introducidos < 4){
    suma = suma + nota;
    cin >> nota;
    total_introducidos++;
}
```

```
suma = suma + nota;
media = suma/total_introducidos;
```

**Problema: Si el valor es negativo lo suma.**

```
suma = 0;
cin >> nota;
total_introducidos = 1;
```



```
while (nota >= 0 && total_introducidos < 4){
    suma = suma + nota;
    cin >> nota;
    total_introducidos++;
}
```

```
if (nota > 0)
    suma = suma + nota;
```

```
media = suma/total_introducidos;
```

**Además, no debemos aumentar total\_introducidos si es un negativo:**

```
if (nota > 0)
    suma = suma + nota;
else
    total_introducidos--;
```



```
media = suma/total_introducidos;
```

**Podemos observar la complejidad (por no decir chapucería) innecesaria que ha alcanzado el programa.**

**Replanteamos desde el inicio la solución y usamos variables lógicas:**

```
int main(){
    const int TOPE_NOTAS = 4;
    int nota, suma, total_introducidos;
    double media;
    bool tope_alcanzado, es_correcto;
```



```
    cout << "Introduzca un máximo de " << TOPE_NOTAS
          << " notas, o cualquier negativo para finalizar.\n ";

    suma = 0;
    total_introducidos = 0;
    es_correcto = true;
    tope_alcanzado = false;
```

```
    do{
        cin >> nota;
```

```
        if (nota < 0)
            es_correcto = false;
        else{
            suma = suma + nota;
            total_introducidos++;
```

```
        if (total_introducidos == TOPE_NOTAS)
            tope_alcanzado = true;
```

```
    }while (es_correcto && !tope_alcanzado);
```

```
    media = suma/(1.0 * total_introducidos); // Si total_introducidos es 0
  // media = infinito
    if (total_introducidos == 0)
        cout << "\nNo se introdujo ninguna nota";
    else
```

```
    cout << "\nMedia aritmética = " << media;  
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_notas.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_notas.cpp)

**Construid los bucles de forma que no haya que arreglar nada después de su finalización**

### II.2.2.5. Estilo de codificación

La siguiente implementación del anterior algoritmo es nefasta ya que cuesta mucho trabajo entenderla debido a los identificadores elegidos y a la falta de líneas en blanco que separen visualmente bloques de código.

```
int main(){  
    const int T = 4;  
    int v, aux, contador;  
    double resultado;  
    bool seguir_1, seguir_2;  
    aux = 0;  
    contador = 0;  
    seguir_1 = true;  
    seguir_2 = false;  
    do{  
        cin >> v;  
        if (v < 0)  
            seguir_1 = false;  
        else{  
            aux = aux + v;  
            contador++;  
            if (contador == T)  
                seguir_2 = true;  
        }  
    }while (seguir_1 && !seguir_2);  
    resultado = aux/(1.0*contador);  
    if (contador == 0)  
        cout << "\nNo se introdujeron valores";  
    else  
        cout << "\nMedia aritmética = " << resultado;  
}
```





## II.2.3. Bucles controlador por contador

### II.2.3.1. Motivación

Se utilizan para repetir un conjunto de sentencias un número de veces fijado de antemano. Se necesita una variable contadora, un valor inicial, un valor final y un incremento.

*Ejemplo.* Hallar la media aritmética de cinco enteros leídos desde teclado.

```
int main(){
    int contador, valor, suma, inicio, final;
    double media;

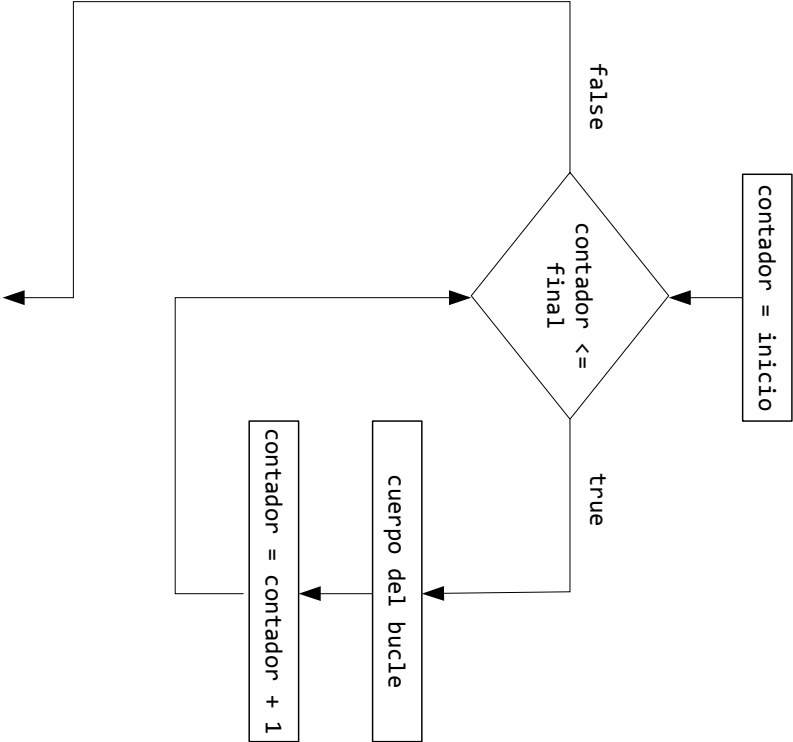
    inicio = 1;
    final = 5;
    suma = 0;
    contador = inicio;

    while (contador <= final){
        cout << "\nIntroduce un número ";
        cin >> valor;
        suma = suma + valor;

        contador = contador + 1;
    }

    media = suma / (final * 1.0);
    cout << "\nLa media es " << media;
}
```

El diagrama de flujo correspondiente es:

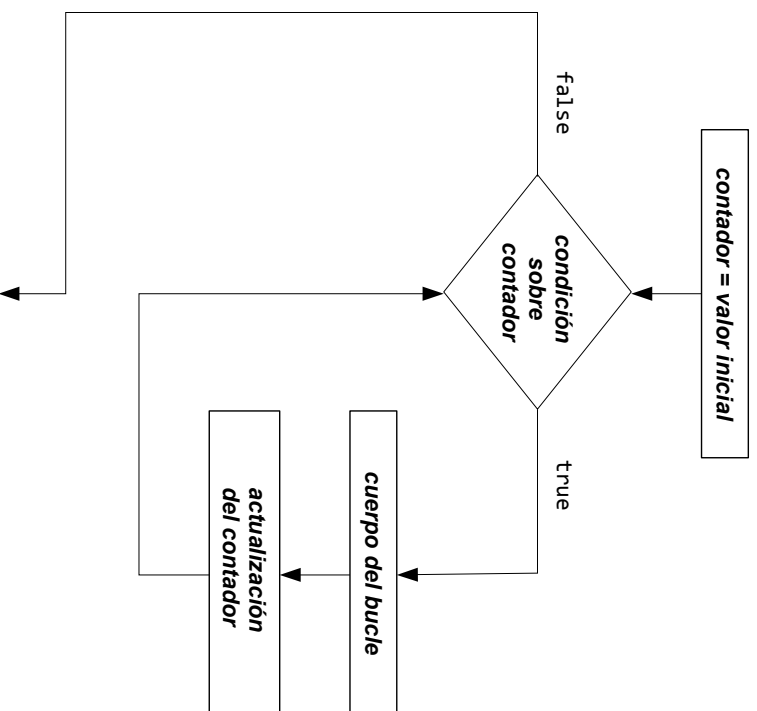


Vamos a implementar el mismo diagrama, pero con otra sintaxis (usando el bucle `for`).

## II.2.3.2. Formato

La sentencia `for` permite la construcción de una forma compacta de los ciclos controlados por contador, aumentando la legibilidad del código.

```
for ([<contador = valor inicial>]; [<condición sobre contador>];  
    [<actualización del contador>])  
    <cuerpo del bucle>
```



**Ejemplo.** Hallar la media aritmética de cinco enteros leídos desde teclado.

```
int main(){
    int contador, valor, suma, inicio, final;
    double media;
```

```
    inicio = 1;
    final = 5;
    suma = 0;
```

```
    for (contador = inicio ; contador <= final ; contador = contador + 1){
        cout << "\nIntroduce un número ";
        cin >> valor;
        suma = suma + valor;
    }
```

```
    media = suma / (final*1.0);
    cout << "\nLa media es " << media;
}
```

Como siempre, si sólo hay una sentencia dentro del bucle, no son necesarias las llaves.

```
for (contador = inicio ; contador <= final ; contador = contador + 1){  
    cout << "\nIntroduce un número ";  
    cin >> valor;  
    suma = suma + valor;  
}
```

- ▷ La primera parte, contador = inicio, es la asignación inicial de la variable controladora. Sólo se ejecuta una única vez (cuando entra al bucle por primera vez)
- ▷ La segunda parte, contador <= final, es la condición de continuación del bucle.
- ▷ La tercera parte, contador = contador + 1, es la sentencia de actualización de la variable controladora.

#### A tener en cuenta:

- ▷ contador = contador + 1 aumenta en 1 el valor de contador en cada iteración. Por abreviar, suele usarse contador++ en vez de contador = contador + 1

```
for (contador = inicio ; contador <= final ; contador++)
```

#### Podemos usar cualquier otro incremento:

```
contador = contador + 4;
```

- ▷ Si usamos como condición

```
contador < final
```

habrá menos iteraciones. Si el incremento es 1, se producirá una iteración menos.

- ▷ También pueden usarse incrementos negativos. En este caso, la condición de terminación del bucle tendrá que ser del tipo contador >= final o contador > final

#### Ejemplo. Imprimir los números del 100 al 1. Encuentre errores en este código:

```
For {x = 100, x>=1, x++}  
    cout << x << " ";
```

#### Ejemplo. Imprimir los pares que hay en el intervalo [−10, 10]

```
int candidato;  
  
num_pares = 0;  
  
for(candidato = -10; candidato <= 10; candidato++) {  
    if (candidato % 2 == 0)  
        cout << candidato << " ";  
}
```

#### Este problema también se podría haber resuelto como sigue:

```
int par;  
  
num_pares = 0;  
  
for (par = -10; par <= 10; par = par + 2)  
    cout << par << " ";
```

**Ejemplo.** Imprimir una línea con 10 asteriscos.

```
int i;
```

```
for (i = 1; i <= 10; i++)
```

```
cout << "*";
```

¿Con qué valor sale la variable i? 11

Cuando termina un bucle for, la variable contadora se queda con el primer valor que hace que la condición del bucle sea falsa.

¿Cuántas iteraciones se producen en un for?

▷ Si incremento = 1, inicio  $\leq$  final y contador  $\leq$  final

final - inicio + 1

▷ Si incremento = 1, inicio  $\leq$  final y contador < final

final - inicio

```
for (i = 0; i < 10; i++) --> 10 - 0 = 10
```

```
cout << "*";
```

```
for (i = 12; i > 2; i--) --> 12 - 2 = 10
```

```
cout << "*";
```

```
for (i = 10; i >= 1; i--) --> 10 - 1 + 1 = 10
```

```
cout << "*";
```

**Usaremos los bucles for cuando sepamos, antes de entrar al bucle, el número de iteraciones que se tienen que ejecutar.**

### Nota:

Cuando las variables usadas en los bucles no tienen un significado especial podremos usar nombres cortos como i, j, k

### Ampliación:

Número de iteraciones con incrementos cualesquiera.

Si es del tipo contador  $\leq$  final, tenemos que contar cuántos intervalos de longitud igual a incremento hay entre los valores inicio y final. El número de iteraciones será uno más.

En el caso de que contador < final, habrá que contar el número de intervalos entre inicio y final - 1.

El número de intervalos se calcula a través de la división entera.

En resumen, considerando incrementos positivos:

▷ Si el bucle es del tipo contador  $\leq$  final el número de iteraciones es (final - inicio) / incremento + 1 siempre y cuando sea inicio  $\leq$  final. En otro caso, hay 0 iteraciones.

▷ Si el bucle es del tipo contador < final el número de iteraciones es (final - 1 - inicio) / incremento + 1 siempre y cuando sea inicio < final. En otro caso, hay 0 iteraciones.

▷ De forma análoga se realizan los cálculos con incrementos negativos (en cuyo caso, el valor inicial ha de ser mayor o igual que el final).



Ejercicio. ¿Qué salida producen los siguientes trozos de código?

```
int i, suma_total;
suma_total = 0;
```

```
for (i = 1 ; i <= 10; i++)
    suma_total = suma_total + 3;
```

```
suma_total = 0;
```

```
for (i = 5 ; i <= 36 ; i++)
    suma_total++;
```

```
suma_total = 0;
```

```
for (i = 5 ; i <= 36 ; i = i+1)
    suma_total++;
```

```
suma_total = 0;
i = 5;
```

```
while (i <= 36){
    suma_total++;
    i = i+1;
}
```

II.2.4. Anidamiento de bucles

Dos bucles se encuentran anidados, cuando uno de ellos está en el bloque de sentencias del otro.

En principio no existe límite de anidamiento, y la única restricción que se debe satisfacer es que deben estar completamente inscritos unos dentro de otros.

En cualquier caso, un factor determinante a la hora de determinar la rareza de un algoritmo es la profundidad del anidamiento. Cada vez que anidamos un bucle dentro de otro, la ineficiencia se dispara.

Anidamiento correcto                      Anidamiento inválido



**Ejemplo.** Imprimir la tabla de multiplicar de los TOPE primeros números.

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    const int TOPE = 3;
    int izda, dcha;

    cout << "Impresión de la tabla de multiplicar del " << TOPE << "\n";

    for (izda = 1 ; izda <= TOPE ; izda++) {
        for (dcha = 1 ; dcha <= TOPE ; dcha++)
            cout << izda << "*" << dcha << "=" << izda * dcha << " ";
        cout << "\n";
    }
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_tabla\\_de\\_multiplicar.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_tabla_de_multiplicar.cpp)

|        | dcha=1  | dcha=2  | dcha=3  |
|--------|---------|---------|---------|
| izda=1 | 1*1 = 1 | 1*2 = 2 | 1*3 = 3 |
| izda=2 | 2*1 = 2 | 2*2 = 4 | 2*3 = 6 |
| izda=3 | 3*1 = 3 | 3*2 = 6 | 3*3 = 9 |

Observad que cada vez que avanza izda y entra de nuevo al bucle, la variable dcha vuelve a inicializarse a 1

*Al diseñar bucles anidados, hay que analizar cuidadosamente las variables que hay que reiniciar antes de entrar a los bucles más internos*

**Ejemplo.** ¿Qué salida produce el siguiente código?

```
iteraciones = 0;
suma = 0;

for (i = 1 ; i <= n; i++){
    for (j = 1 ; j <= n; j++){
        suma = suma + j;
        iteraciones++;
    }
}
```

**Número de iteraciones:**  $n^2$

**Valor de la variable suma.** Supongamos  $n = 5$ . Valores que va tomando j:

```
1 + 2 + 3 + 4 + 5 +
1 + 2 + 3 + 4 + 5 +
1 + 2 + 3 + 4 + 5 +
1 + 2 + 3 + 4 + 5 +
1 + 2 + 3 + 4 + 5
```

suma = 5 \* (1 + 2 + 3 + 4 + 5). En general:

$$suma = n \sum_{i=1}^{i=n} i = n \frac{n^2 + n}{2} = \frac{n^3 + n^2}{2}$$

Si  $n$  es 5, suma se quedará con 75

### Ejemplo. ¿Qué salida produce el siguiente código?

```
iteraciones = 0;
suma = 0;

for (i = 1 ; i <= n; i++){
    for (j = i ; j <= n; j++){
        suma = suma + j;
        iteraciones++;
    }
}
```

#### Número de iteraciones:

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

#### Valor de la variable suma. Supongamos n = 5. Valores que va tomando j:

```
1 + 2 + 3 + 4 + 5 +
2 + 3 + 4 + 5 +
3 + 4 + 5 +
4 + 5 +
5
```

$$\text{suma} = 5 * 5 + 4 * 4 + 3 * 3 + 2 * 2 + 1 * 1 = \sum_{i=1}^{i=n} i^2 = \frac{1}{6}n(n+1)(2n+1)$$

Si n es 5, suma se quedará con 55

### Ejemplo. Imprimir en pantalla los primos menores que un entero.

```
int main(){
    int entero, posible_primo, divisor;
    bool es_primo;

    cout << "Introduzca un entero ";
    cin >> entero;
    cout << "\nLos primos menores que " << entero << " son:\n";

    for (posible_primo = entero - 1 ; posible_primo > 1 ; posible_primo--){
        es_primo = true;
        divisor = 2;

        while (divisor < posible_primo && es_primo){
            if (posible_primo % divisor == 0)
                es_primo = false;
            else
                divisor++;
        }

        if (es_primo)
            cout << divisor << " ";
    }
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL\\_imprimir\\_primos.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/IL_imprimir_primos.cpp)

**Ejemplo.** El *Teorema fundamental de la Aritmética* (Euclides 300 A.C./Gauss 1800) nos dice que podemos expresar cualquier entero como producto de factores primos.

Imprimir en pantalla dicha descomposición.

```
n      primo
360    2
180    2
90     2
45     3
15     3
5      5
1
```

Fijamos un valor de primo cualquiera. Por ejemplo `primo = 2`

```
// Dividir n por primo cuantas veces sea posible
// n es una copia del original

primo = 2;

while (n % primo == 0){
    cout << primo << " ";
    n = n / primo;
}
```

Ahora debemos pasar al siguiente primo primo y volver a ejecutar el bloque anterior. Condición de parada: `n >= primo` o bien `n > 1`

```
Mientras n > 1
    Dividir n por primo cuantas veces sea posible
    primo = siguiente primo mayor que primo
```

¿Cómo pasamos al siguiente primo?

```
Repite mientras !es_primo
    primo++;
es_primo = Comprobar si primo es un número primo
```

La comprobación de ser primo o no la haríamos con el algoritmo que vimos en la página 206. Pero no es necesario. Hagamos simplemente

```
/*
Mientras n > 1
    Dividir n por primo cuantas veces sea posible
    primo++
*/

primo = 2;

while (n > 1){
    while (n % primo == 0){
        cout << primo << " ";
        n = n / primo;
    }
    primo++;
}
```

¿Corremos el peligro de intentar dividir `n` por un valor `primo` que no sea primo? No. Por ejemplo, `n=40`. Cuando `primo` sea 4, ¿podrá ser `n` divisible por 4, es decir `n%4==0`? Después de dividir todas las veces posibles por 2, me queda `n=5` que ya no es divisible por 2, ni por tanto, por ningún múltiplo de 2. En general, al evaluar `n%primo`, `n` ya ha sido dividido por todos los múltiplos de `primo`.

**Nota.** Podemos sustituir `primo++` por `primo = primo+2` (tratando el primer caso `primo = 2` de forma aislada)



```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    int entero, n, primo;

    cout << "Descomposición en factores primos";
    cout << "\nIntroduzca un entero ";
    cin >> entero;

    /*
    Copiar entero en n

    Mientras n > 1
        Dividir n por primo cuantas veces sea posible
        primo++

    */
    n = entero;
    primo = 2;

    while (n > 1){
        while (n % primo == 0){
            cout << primo << " ";
            n = n / primo;
        }
        primo++;
    }
}
```

[http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II\\_descomposicion\\_en\\_primos.cpp](http://decsai.ugr.es/~carlos/FP/II_descomposicion_en_primos.cpp)

## 11.3. Particularidades de C++

C++ es un lenguaje muy versátil. A veces, demasiado ...

### 11.3.1. Expresiones y sentencias son similares

#### 11.3.1.1. El tipo `bool` como un tipo entero

En C++, el tipo lógico es compatible con un tipo entero. Cualquier expresión entera que devuelva el cero, se interpretará como `false`. Si devuelve cualquier valor distinto de cero, se interpretará como `true`.

```
bool var_logica;

var_logica = false;
var_logica = (4 > 5); // Correcto: resultado false
var_logica = 0;      // Correcto: resultado 0 (false)

var_logica = (4 < 5); // Correcto: resultado true
var_logica = true;
var_logica = 2;      // Correcto: resultado 2 (true)
```

**Nota.** Normalmente, al ejecutar `cout << false`, se imprime en pantalla un cero, mientras que `cout << true` imprime un uno.

La dualidad entre los tipos enteros y lógicos nos puede dar quebraderos de cabeza en los condicionales

```
int dato = 4;
```

```
if (! dato < 5)
```

```
    cout << dato <<" es mayor o igual que 5";
```

```
else
```

```
    cout << dato <<" es menor de 5";
```



El operador ! tiene más precedencia que <. Por lo tanto, la evaluación es como sigue:

```
! dato < 5 ⇔ (!dato) < 5 ⇔ (4 equivale a true) (!true) < 5 ⇔
```

```
⇔ false < 5 ⇔ 0 < 5 ⇔ true
```

!Imprime 4 es mayor o igual que 5!

Solución:

```
if (! (dato < 5))
```

```
    cout << dato <<" es mayor o igual que 5";
```

```
else
```

```
    cout << dato <<" es menor de 5";
```

o mejor, simplificando la expresión siguiendo el consejo de la página 179

```
if (dato >= 5)
```

```
    cout << dato <<" es mayor o igual que 5";
```

```
else
```

```
    cout << dato <<" es menor de 5";
```

**Ejercicio.** ¿Qué ocurre en este código y por qué?

```
bool es_menor;
```

```
es_menor = 0.2 <= 0.3 <= 0.4;
```

### II.3.1.2. El operador de asignación en expresiones

El operador de asignación = se usa en sentencias del tipo:

```
valor = 7;
```

Pero además, devuelve un valor: el resultado de la asignación. Así pues, valor = 7 **es una expresión** que devuelve 7

```
un_valor = otro_valor = valor = 7;
```

Esto producirá fuertes dolores de cabeza cuando por error usemos una expresión de asignación en un condicional:

```
valor = 5;
```

```
if (valor = 7)
```

```
    <acciones if> // Siempre se ejecuta este bloque!
```

```
else
```

```
    <acciones else>
```

```
// Además, valor se queda con 7
```

valor = 7 devuelve 7. Al ser distinto de cero, es true. Por tanto, se ejecuta el bloque if (y además valor se ha modificado con 7)

Otro ejemplo:

```
a = 7;
```

```
if (a = 0)
```

```
    cout << "\nRaíz= " << -c/b; // Nunca se ejecuta!
```

```
else{
```

```
    r1 = -b + sqrt(b*b - 4*a*c) / (2*a) ; // Error lógico
```



### II.3.1.3. El operador de igualdad en sentencias

C++ permite que una expresión constituya una sentencia 😊

Esta particularidad no da beneficios salvo en casos muy específicos y sin embargo nos puede dar quebraderos de cabeza. Así pues, el siguiente código compila perfectamente:

```
int entero;  
4 + 3;
```

C++ evalúa la expresión *entera*  $4 + 3$ ;; devuelve 7 y no hace nada con él, prosiguiendo la ejecución del programa.

Otro ejemplo:

```
int entero;  
entero == 7;
```

C++ evalúa la expresión *lógica*  $\text{entero} == 7$ ;; devuelve true y no hace nada con él, prosiguiendo la ejecución del programa.

### II.3.1.4. El operador de incremento en expresiones

El operador ++ (y --) puede usarse dentro de una expresión.

Si se usa en forma postfija, primero se evalúa la expresión y luego se incrementa la variable.

Si se usa en forma prefija, primero se incrementa la variable y luego se evalúa la expresión.

**Ejemplo.** El siguiente condicional expresa una condición del tipo *Comprueba si el  $x$  es igual a 10*

```
variable = 9;  
if (variable + 1 == 10)  
    cout << variable;           // Imprime 9  
cout << " " << variable;       // Imprime 9
```

El siguiente condicional expresa una condición del tipo *Comprueba si el  $x$  es igual a 10 y luego incrementalo*

```
variable = 9;  
if (variable++ == 10)  
    cout << variable;           // No entra  
cout << " " << variable;       // Imprime 10
```

El siguiente condicional expresa una condición del tipo *Incrementa el  $x$  y comprueba si es igual a 10*

```
variable = 9;  
if (++variable == 10)  
    cout << variable;           // Imprime 10  
cout << " " << variable;       // Imprime 10
```



**Consejo:** Evitar el uso de los operadores ++ y -- en la expresión lógica de una sentencia condicional, debido a las sutiles diferencias que hay en su comportamiento, dependiendo de si se usan en formato pre-fijo o postfijo

## 11.3.2. El bucle for en C++

### 11.3.2.1. Bucles for con cuerpo vacío

El siguiente código no imprime los enteros del 1 al 20. ¿Por qué?

```
for (x = 1; x <= 20; x++);  
cout << x;
```

Realmente, el código bien tabulado es:

```
for (x = 1; x <= 20; x++)  
;  
cout << x;
```

### 11.3.2.2. Bucles for con sentencias de incremento incorrectas

Lo siguiente es un error lógico:

```
for (par = -10; par <= 10; par + 2) // en vez de par = par + 2  
    num_pares++;
```

equivale a:

```
par = -10;
```

```
while (par <= 10){  
    num_pares++;  
    par + 2;  
}
```

Compila correctamente pero la sentencia `par + 2`; no incrementa `par` (recordad lo visto en la página 235) Resultado: bucle infinito.

### II.3.2.3. Modificación del contador

*Únicamente mirando la cabecera de un bucle for sabemos cuantas iteraciones se van a producir* (recordar lo visto en la página 222). Por eso, en los casos en los que sepamos de antemano cuántas iteraciones necesitamos, usaremos un bucle for. En otro caso, usaremos un bucle while ó do while.

Para mantener dicha finalidad, es necesario respetar la siguiente restricción:

**No se debe modificar el valor de la variable controladora, ni el valor final dentro del cuerpo del bucle for**



Sin embargo, C++ no impone dicha restricción. Será responsabilidad del programador.

**Ejemplo.** Sumar los divisores de valor. ¿Dónde está el fallo en el siguiente código?:

```
suma = 0;
tope = valor/2;

for (divisor = 2; divisor <= tope ; divisor++) {
    if (valor % divisor == 0)
        suma = suma + divisor;
    divisor++;
}
```

**El código compila pero se produce un error lógico ya que la variable divisor se incrementa en dos sitios.**

### II.3.2.4. El bucle for como ciclo controlado por condición

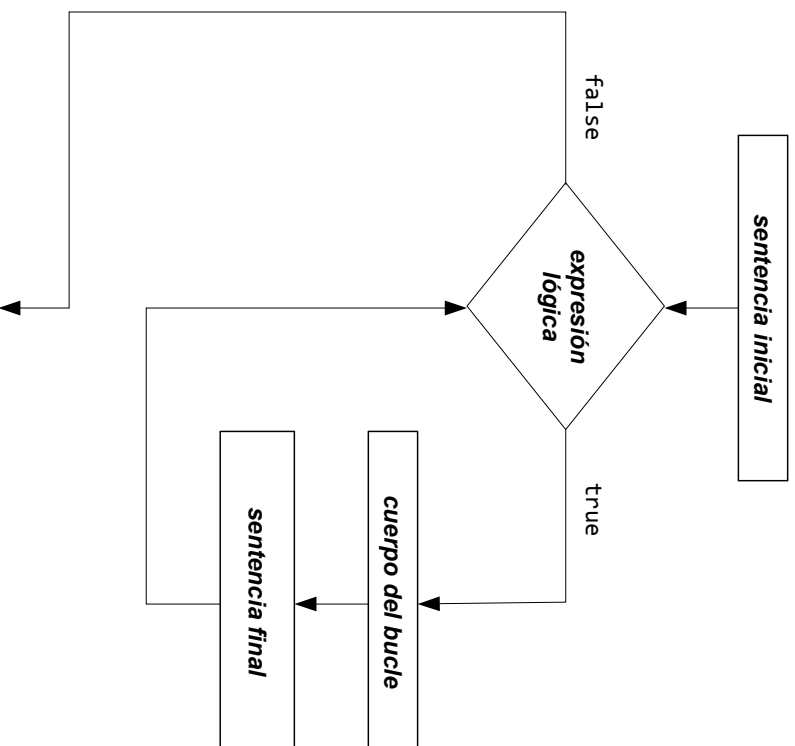
Si bien en muchos lenguajes tales como PASCAL, FORTRAN o BASIC el comportamiento del ciclo for es un bucle controlado por contador, en C++ es un ciclo más versátil, controlado por condición.

En el caso concreto de C++, su sintaxis es la siguiente:

```
for ([<sentencia inicial>];
    [<expresión lógica>];
    [<sentencia final>])
    <cuerpo bucle>
```

donde,

- ▷ <sentencia inicial> es la sentencia que se ejecuta antes de entrar al bucle,
- ▷ <expresión lógica> es cualquier condición que verifica si el ciclo debe terminar o no,
- ▷ <sentencia final> es la sentencia que se ejecuta antes de volver arriba para comprobar el valor de la expresión lógica.



Por tanto, la condición impuesta en el ciclo no tiene por qué ser de la forma `contador < final`, sino que puede ser cualquier tipo de condición. Veamos en qué situaciones es útil esta flexibilidad.

**Ejemplo.** Escribe los enteros entre `inf` y `sup`, hasta llegar al primer múltiplo de 13:

```

cin >> inf;
cin >> sup;

for (entero = inf; entero <= sup; entero++) {
    cout << entero << " ";

    if (entero % 13 == 0)
        entero = sup + 1;
}
  
```



El código se ejecuta correctamente pero estamos modificando la variable contadora dentro del bucle, algo que debemos evitar. Podemos usar un `while`:

```

entero = inf;

while (entero <= sup && entero % 13 != 0){
    cout << entero << " ";
    entero++;
}
  
```



También podemos añadir una condición a la expresión lógica del `for`:

```

for (entero = inf; entero <= sup && entero % 13 != 0 ; entero++)
    cout << entero << " ";
  
```



*Nunca nos saldremos de un bucle `for` asignándole un valor extremo a la variable contadora. Basta con que añadamos una condición a la expresión lógica del `for`*

**Ejemplo.** Comprobar si un número es primo. Lo resolvimos en la página 206:

```
es_primo = true;
divisor = 2

while (divisor < valor && es_primo){
    if (valor % divisor == 0)
        es_primo = false;
    else
        divisor++;
}
```

Con un for quedaría:

```
es_primo = true;
divisor = 2

for (divisor = 2; divisor < valor && es_primo; divisor++)
    if (valor % divisor == 0)
        es_primo = false;
```

Observad que en la versión con for, la variable divisor **siempre** se incrementa, por lo que al terminar el bucle, si el número no es primo, divisor será igual al primer divisor de valor, más 1.

En los ejemplos anteriores

```
for (entero = inf; entero<=sup && entero%13 != 0 ; entero++)
    for (divisor = 2; divisor <= tope && es_primo; divisor++)
```

se ha usado dentro del for dos condiciones que controlan el bucle:

- ▷ La condición relativa a la variable contadora.
- ▷ Otra condición adicional.

Este código es completamente aceptable en C++.

*En resumen, usaremos un bucle for en los casos en los que siempre exista:*

- ▷ Una sentencia de inicialización del contador
- ▷ Una condición de continuación que involucre al contador (pueden haber otras condiciones **adicionales**)
- ▷ Una sentencia final que involucre al contador

Pero ya puestos, ¿puede usarse entonces, cualquier condición dentro de la cabecera del for? Sí, pero no es muy recomendable.

**Ejemplo.** Construir un programa que indique el número de valores que introduce un usuario hasta que se encuentre con un cero (éste no se cuenta)

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    int num_valores, valor;

    cout << "Se contarán el número de valores introducidos";
    cout << "\nIntroduzca 0 para terminar ";

    cin >> valor;
    num_valores = 0;

    while (valor != 0){
        cin >> valor;
        num_valores++;
    }

    cout << "\nEl número de valores introducidos es " << num_valores;
}
```



Lo hacemos ahora con un for:

```
#include <iostream>
using namespace std;

int main(){
    int num_valores, valor;

    cout << "Se contarán el número de valores introducidos";
    cout << "\nIntroduzca 0 para terminar ";

    cin >> valor;

    for (num_valores = 0; valor != 0; num_valores++)
        cin >> valor;

    cout << "\nEl número de valores introducidos es " << num_valores;
}
```



El bucle funciona correctamente pero es un estilo que debemos evitar pues confunde al programador. Si hubiésemos usado otros (menos recomendables) nombres de variables, podríamos tener lo siguiente:

```
for (recorrer = 0; recoger != 0; recorrer++)

Y el cerebro de muchos programadores le engañará y le harán creer que
está viendo lo siguiente, que es a lo que está acostumbrado:

for (recorrer = 0; recorrer != 0; recorrer++)
```

**Consejo:** Intentad evitar la construcción de bucles for en los que la(s) variable(s) que aparece(n) en la condición, no aparece(n) en las otras dos expresiones





Y ya puestos, ¿podemos suprimir algunas expresiones de la cabecera de un bucle `for`? La respuesta es que sí, pero hay que evitarlas SIEMPRE. Oscurecen el código.

**Ejemplo.** Sumar valores leídos desde la entrada por defecto, hasta introducir un cero.

```
int main(){
    int valor, suma;
    cin >> valor;

    for ( ; valor!=0 ; ){
        suma = suma + valor
        cin >> valor;
    }
```



### 11.3.3. Otras (perniciosas) estructuras de control

Existen otras sentencias en la mayoría de los lenguajes que permiten alterar el flujo normal de un programa.

En concreto, en C++ existen las siguientes sentencias:

`goto`    `continue`    `break`    `exit`

Durante los 60, quedó claro que el uso incontrolado de sentencias de transferencia de control era la principal fuente de problemas para los grupos de desarrollo de software.

Fundamentalmente, el responsable de este problema era la sentencia `goto` que le permite al programador transferir el flujo de control a cualquier punto del programa.

Esta sentencia aumenta considerablemente la complejidad tanto en la legibilidad como en la depuración del código.



#### Ampliación:

Consultad el libro Code Complete de McConnell, disponible en la biblioteca. En el tema de Estructuras de Control incluye una referencia a un informe en el que se reconoce que un uso inadecuado de un `break`, provocó un apagón telefónico de varias horas en los 90 en NY.



**En FP, no se permitirá el uso de ninguna de las sentencias anteriores, excepto la sentencia `break` con el propósito aquí descrito dentro de la sentencia `switch`.**



Bibliografía recomendada para este tema:

- ▷ A un nivel menor del presentado en las transparencias:
    - Segundo capítulo de Deitel & Deitel
    - Capítulos 15 y 16 de McConnell
  - ▷ A un nivel similar al presentado en las transparencias:
    - Segundo y tercer capítulos de Garrido.
    - Capítulos cuarto y quinto de Gaddis.
  - ▷ A un nivel con más detalles:
    - Capítulos quinto y sexto de Stephen Prata.
    - Tercer capítulo de Lafore.
- Los autores anteriores presentan primero los bucles junto con la expresiones lógicas y luego los condicionales.

## Índice alfabético

índice de variación, 112

algoritmo (algorithm), 3

ascii extendido (extended ascii), 71

asociatividad (associativity), 48

biblioteca (library), 13

bit, 43

bucle controlado por condición (condition-controlled loop), 185

bucle controlado por contador (counter controlled loop), 185

bucle post-test (post-test loop), 185

bucle pre-test (pre-test loop), 185

buffer, 87

byte, 43

código binario (binary code), 6

código fuente (source code), 9

cadena de caracteres (string), 77

codificación (coding), 71

coma flotante (floating point), 51

compilador (compiler), 12

componentes léxicos (tokens), 18

condición (condition), 101

constante (constant), 30

cursor (cursor), 87

dato (data), 3, 14

declaración (declaration), 14

declaración de un dato (data declaration), 25

desbordamiento aritmético (arithmetic overflow), 60

diagrama de flujo (flowchart), 99

entero (integer), 44

entrada de datos (data input), 15

enumerado (enumeration), 172

errores en tiempo de compilación (compilation error), 20

errores en tiempo de ejecución (execution error), 21

errores lógicos (logic errors), 21

espacio de nombres (namespace), 17

estructura condicional (conditional structure), 101

estructura condicional doble (else conditional structure), 114

estructura repetitiva (iteration/loop), 185

estructura secuencial (sequential control flow structure), 101

evaluación en ciclo corto (short-

- circuit evaluation), 184
- evaluación en ciclo largo (eager evaluation), 184
- exponente (exponent), 51
- expresión (expression), 37
- expresiones aritméticas (arithmetic expression), 58
- filtro (filter), 188
- flujo de control (control flow), 19, 98
- función (function), 15, 41
- hardware, 2
- identificador (identifier), 14
- implementación de un algoritmo (algorithm implementation), 9
- indeterminación (undefined), 55
- infinito (infinity), 55
- iteración (iteration), 186
- l-value, 38
- lógico (boolean), 81
- lectura anticipada, 195
- lenguaje de programación (programming language), 7
- lenguaje ensamblador (assembly language), 7
- lenguajes de alto nivel (high level language), 7
- literal (literal), 29
- literales de cadenas de caracteres (string literals), 29
- literales de caracteres (character literals), 29
- literales enteros (integer literals), 45
- literales lógicos (boolean literals), 29
- literales numéricos (numeric literals), 29
- mantisa (mantissa), 51
- mutuamente excluyente (mutually exclusive), 123
- notación científica (scientific notation), 50
- notación infija (infix notation), 39
- notación prefija (prefix notation), 39
- operador (operator), 15, 41
- operador binario (binary operator), 39
- operador de asignación (assignment operator), 15
- operador de casting (casting operator), 69
- operador n-ario (n-ary operator), 39
- operador unario (unary operator), 39
- parámetros (parameter), 41
- precisión (precision), 53
- principio de programación - sencillez (programming principle - simplicity), 181
- principio de programación - una única vez (programming principle - once and only once), 95
- programa (program), 9

- programación (programming), 11
- programador (programmer), 2
- r-value, 38
- rango (range), 42
- real (float), 50
- redondeo (rounding), 52
- reglas sintácticas (syntactic rules), 18
- salida de datos (data output), 16
- sentencia (sentence/statement), 14
- sentencia condicional (conditional statement), 102
- sentencia condicional doble (else conditional statement), 114
- software, 2
- tipos de datos (data types), 14
- tipos de datos primitivos (primitive data types), 25
- transformación de tipo (casting), 60
- unicode, 71
- usuario (user), 2
- valor (value), 15
- variables (variables), 30