

# Abstracción del Control de Flujo de Ejecución

## Iteraciones

Esp. Ing. José María Sola, profesor.

Revisión 1.1.0

2017-05-07

---

---

---

# Tabla de contenidos

1. Iteraciones .....	1
1.1. Introducción .....	1
1.1.1. Caso de Estudio .....	2
1.1.2. Estructura del Artículo .....	2
1.2. Sentencia Go-To .....	4
1.2.1. Diagrama de Flujo .....	4
1.2.2. Diagrama N-S .....	4
1.2.3. Pseudocódigo .....	4
1.2.4. C++ .....	5
1.2.5. Assembler .....	5
1.2.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S .....	5
1.3. Abstracción mediante Estructuras de Iteración .....	6
1.4. Sentencia Do-While .....	6
1.4.1. Diagrama de Flujo .....	6
1.4.2. Diagrama N-S .....	7
1.4.3. Pseudocódigo .....	7
1.4.4. C++ .....	8
1.4.5. Assembler .....	8
1.4.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S .....	8
1.5. Sentencia While .....	9
1.5.1. Diagrama de Flujo .....	9
1.5.2. Diagrama N-S .....	9
1.5.3. Pseudocódigo .....	10
1.5.4. C++ .....	10
1.5.5. Assembler .....	10
1.5.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S .....	11
1.6. Sentencia For .....	11
1.6.1. Diagrama de Flujo .....	11
1.6.2. Diagrama N-S .....	12
1.6.3. Pseudocódigo .....	12
1.6.4. C++ .....	12
1.6.5. Assembler .....	12
1.6.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S .....	13
1.7. Recursividad .....	13

1.7.1. Diagrama N-S .....	13
1.7.2. Pseudocódigo .....	13
1.7.3. C++ .....	14
1.7.4. Assembler .....	14
1.7.5. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S .....	15
1.8. Síntesis .....	16
1.8.1. Sentencia Do-While .....	16
1.8.2. Sentencia While .....	16
1.8.3. Sentencia For General .....	17
1.8.4. Sentencia For Iterador .....	18
1.8.5. Sentencia For Iterador de a Paso Mayor a Uno .....	19
1.9. Ejercicios Propuestos .....	20

# Iteraciones

---

## 1.1. Introducción

La *repetición* es fundamental para la definición de algoritmos. La *programación con estructuras de control de flujo de ejecución* define tres estructuras:

- Secuencia.
- Selección.
- Iteración.

La *iteración* es un mecanismo para la repetición. Abstrae los *saltos condicionales* y *saltos incondicionales*. Hoy dos patrones básicos de iteración:

- una-ó-más-repeticiones.
- cero-ó-más-repeticiones.

Los lenguajes disponibilizan estos dos patrones en varias estructuras de control, C++ lo hace con tres estructuras:

- Sentencias Do-While.
- Sentencias While.
- Sentencias For.

Otro mecanismo para la repetición es la *recursividad*.

### 1.1.1. Caso de Estudio

Este texto se basa en un caso de estudio que es la resolución de un problema simple:

Enviar por la salida estándar repetidas veces una misma frase.

Esta es una generalización del [problema particular que todas las semanas](#)<sup>1</sup> se enfrenta [Bart Simpson](#)<sup>2</sup>, y al que [Jason Fox](#) [dió una solución](#)<sup>3</sup>. En nuestro caso en particular, la frase va a ser simplemente "Hola" y la cantidad de veces 42.

Nuestra solución se basa en un algoritmo que cuenta las veces que envía la frase y finaliza cuando la cuenta llega a 42. Vamos a repasar diferentes variantes del algoritmo, y también diferentes representaciones.

Todas las variantes del algoritmo utilizan una variable para contar, por eso el *léxico* es el mismo:

$$i \in \mathbb{N}$$

ó bien en C++

```
unsigned i;
```

Una opción también válida es utilizar Enteros ( $\mathbb{Z}$ ) en vez de Naturales ( $\mathbb{N}$ ), pero como el iterador o contador no va a ser menor a cero, elegimos un tipo de dato que restrinja los valores. En C++, no solo nos beneficia la restricción que da unsigned por sobre int, unsigned tiene un rango de valores no negativos que es el doble de int.

### 1.1.2. Estructura del Artículo

La primera parte presenta la resolución del problema con cinco variantes: *Go-To*, *Do-While*, *While*, *For*, y *Recursividad*. Por cada variante se presenta seis representaciones.

---

<sup>1</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Simpsons\\_opening\\_sequence#Chalkboard\\_gag](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Simpsons_opening_sequence#Chalkboard_gag)

<sup>2</sup> <https://simpsonswiki.com/wiki/File:ChalkboardGag7F11.png>

<sup>3</sup> <http://www.gocomics.com/foxtrot/2003/10/03/>

1. *Diagrama de Flujo*: Es una representación visual y de alto nivel del algoritmo donde el control del flujo de ejecución se explicita mediante flechas y saltos.
2. *Diagrama Nassi-Shneiderman (NS)*: También es una representación visual y de alto nivel del algoritmo donde el control de flujo de ejecución se abstrae de los saltos, y se vale de *estructuras de control de flujo*.
3. *Pseudocódigo*: Es una representación textual que también es de alto nivel y que abstrae el control de flujo mediante *estructuras de control de flujo de ejecución*. Las estructuras se representan textualmente con palabras que indican su inicio y, opcionalmente, su fin. El cuerpo de la estructura se denota con *indentación* (sangría). El texto es en general informal, puede estar escrito en una mezcla de lenguaje natural y matemático, y busca evitar palabras propias de un lenguaje de programación en particular.
4. *Código en Lenguaje en C++*. Esta representación también de alto nivel y textual pero que es procesable por un *compilador* para generar una representación de bajo nivel ejecutable por la máquina.
5. *Código en Lenguaje Ensamblador*. Es la representación textual de bajo nivel que tiene una relación, prácticamente, uno-a-uno con el código binario que puede ejecutar la máquina. Este lenguaje no posee *estructuras de control de flujo de ejecución*, incluye saltos condicionales y saltos incondicionales, como también uso de registros. El *ensamblador* es quien procesa esta representación y genera el código binario.
6. *Código en C++ Autogenerado*: Esta representación es generada automática a partir de los diagramas NS mediante la aplicación [Structorizer](http://structorizer.fisch.lu)<sup>4</sup>, existen otras aplicaciones similares con la misma funcionalidad.

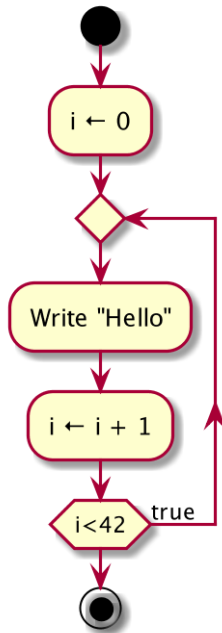
La segunda parte es una síntesis, y la última, ejercicios propuestos.

---

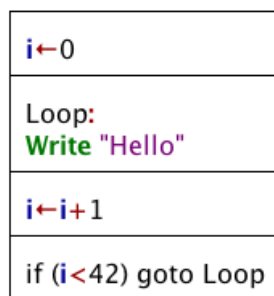
<sup>4</sup> <http://structorizer.fisch.lu>

## 1.2. Sentencia Go-To

### 1.2.1. Diagrama de Flujo



### 1.2.2. Diagrama N-S



### 1.2.3. Pseudocódigo

```

1:  $i \leftarrow 0$ .
2: write "Hello".
3: Incrementar  $i$ .
  
```



4: Si es menor a 42 entonces ir a línea 2.

### 1.2.4. C++

```
#include <iostream>

int main(void){
    unsigned i;

    i = 0;
Loop:
    std::cout << "Hello\n";
    ++i;
    if(i<42) goto Loop;
}
```

### 1.2.5. Assembler

```
mov dword ptr [rbp - 8], 0
LBB0_1:                                ## =>This Inner Loop Header:
    Depth=1
    mov rdi, qword ptr [rip + __ZNSt3__14coutE@GOTPCREL]
    lea rsi, [rip + L_.str]
    call __ZNSt3__115INS_11char_traitsIcEEEEERNSt3__1basic_ostreamIcT_EES6_PKC
    mov ecx, dword ptr [rbp - 8]
    add ecx, 1
    mov dword ptr [rbp - 8], ecx
    cmp dword ptr [rbp - 8], 42
    mov qword ptr [rbp - 16], rax ## 8-byte spill
    jae LBB0_3
## BB#2:                                ## in Loop: Header=BB0_1
    Depth=1
    jmp LBB0_1
LBB0_3:
```

### 1.2.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S

```
#include <iostream>

int main(void)
{
```

```
int i;  
  
i = 0;  
Loop::  
std::cout << "Hello" << std::endl;  
i = i+1;  
if (i<42) goto Loop;  
}
```

### 1.3. Abstracción mediante Estructuras de Iteración

Se eliminan los saltos condicionales y los saltos incondicionales. Hay dos patrones:

- una-ó-más-repeticiones.
- cero-ó-más-repeticiones.

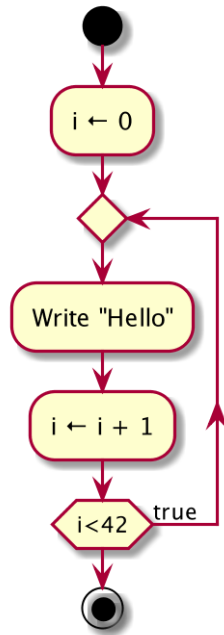
Y tres tipos de sentencia de C++ que implementan los patrones:

- Sentencias Do-While.
- Sentencias While.
- Sentencias For.

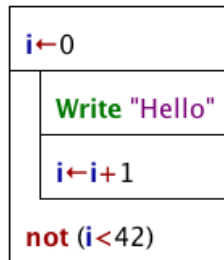
### 1.4. Sentencia Do-While

#### 1.4.1. Diagrama de Flujo

El diagrama de flujo para `do-while` es idéntico al de `goto`.



### 1.4.2. Diagrama N-S



### 1.4.3. Pseudocódigo

```
i ← 0.  
Hacer:  
    write "Hello".  
    Incrementar i.  
Mientras sea menor a 42.
```

### 1.4.4. C++

```
#include <iostream>

int main() {
    unsigned i;

    i=0;
    do{
        std::cout << "Hello\n";
        ++i;
    }while(i<42);
}
```

### 1.4.5. Assembler

```
mov dword ptr [rbp - 8], 0
LBB0_1:                                     ## =>This Inner Loop Header:
Depth=1
mov rdi, qword ptr [rip + __ZNSt3__14coutE@GOTPCREL]
lea rsi, [rip + L_.str]
call __ZNSt3__1sINS_11char_traitsICEEEERNSt3__1basic_ostreamIcT_EES6_PKc
mov ecx, dword ptr [rbp - 8]
add ecx, 1
mov dword ptr [rbp - 8], ecx
mov qword ptr [rbp - 16], rax ## 8-byte Spill
## BB#2:                                     ## in Loop: Header=BB0_1
Depth=1
cmp dword ptr [rbp - 8], 42
jb LBB0_1
```

### 1.4.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S

```
#include <iostream>

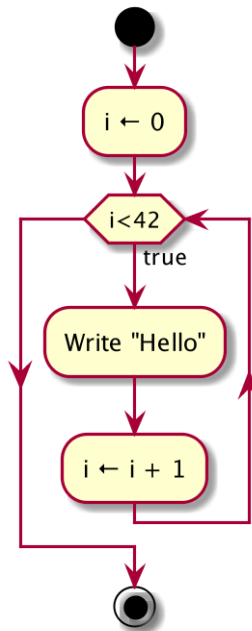
int main(void)
{
    int i;

    i = 0;
    do {
        std::cout << "Hello" << std::endl;
    }
```

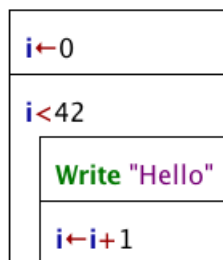
```
i = i+1;  
} while (!(i < 42));  
}
```

## 1.5. Sentencia While

### 1.5.1. Diagrama de Flujo



### 1.5.2. Diagrama N-S



### 1.5.3. Pseudocódigo

```
i ← 0.  
Mientras sea menor a 42:  
    Write "Hello".  
    Incrementar i.
```

### 1.5.4. C++

```
#include <iostream>  
  
int main() {  
    unsigned i;  
  
    i=0;  
    while(i<42){  
        std::cout << "Hello\n";  
        ++i;  
    }  
}
```

### 1.5.5. Assembler

```
mov dword ptr [rbp - 8], 0  
LBB0_1:                                     ## =>This Inner Loop Header:  
Depth=1  
cmp dword ptr [rbp - 8], 42  
jae LBB0_3  
## BB#2:                                     ## in Loop: Header=BB0_1  
Depth=1  
mov rdi, qword ptr [rip + __ZNSt3__14cout@GOTPCREL]  
lea rsi, [rip + L_.str]  
call __ZNSt3__1sINS_11char_traitsIcEEEEERNS_13basic_ostreamIcT_EES6_PKC  
mov ecx, dword ptr [rbp - 8]  
add ecx, 1  
mov dword ptr [rbp - 8], ecx  
mov qword ptr [rbp - 16], rax ## 8-byte spill  
jmp LBB0_1  
LBB0_3:
```

### 1.5.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S

```
#include <iostream>

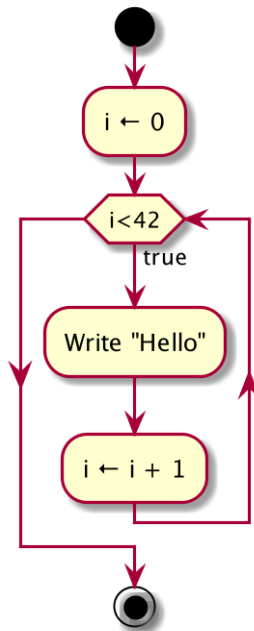
int main(void)
{
    int i;

    i = 0;
    while (i<42) {
        std::cout << "Hello" << std::endl;
        i = i+1;
    }
}
```

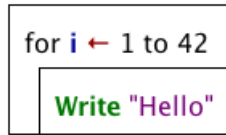
## 1.6. Sentencia For

### 1.6.1. Diagrama de Flujo

El diagrama de flujo para for es idéntico a while.



## 1.6.2. Diagrama N-S



## 1.6.3. Pseudocódigo

```

Repetir 42 veces:
    Write "Hello".
  
```

## 1.6.4. C++

```

#include <iostream>

int main() {
    for(unsigned i=0; i<42; ++i)
        std::cout << "Hello\n";
}
  
```

## 1.6.5. Assembler

```

mov dword ptr [rbp - 8], 0
LBB0_1:                                ## =>This Inner Loop Header:
    Depth=1
    cmp dword ptr [rbp - 8], 42
    jae LBB0_4
## BB#2:                                ## in Loop: Header=BB0_1
    Depth=1
    mov rdi, qword ptr [rip + __ZNSt3__14coutE@GOTPCREL]
    lea rsi, [rip + L_.str]
    call __ZNSt3__1sINS_11char_traitsIcEEEEERNS_13basic_ostreamIcT_EES6_PKC
    mov qword ptr [rbp - 16], rax ## 8-byte Spill
## BB#3:                                ## in Loop: Header=BB0_1
    Depth=1
    mov eax, dword ptr [rbp - 8]
    add eax, 1
    mov dword ptr [rbp - 8], eax
    jmp LBB0_1
  
```



### 1.6.6. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S

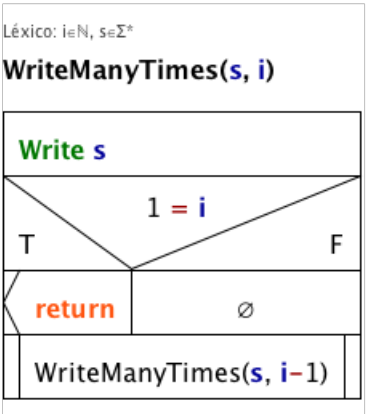
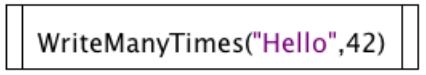
```
#include <iostream>

int main(void)
{
    int i;

    for (i = 1; i <= 42; i += (1)) {
        std::cout << "Hello" << std::endl;
    }
}
```

### 1.7. Recursividad

#### 1.7.1. Diagrama N-S



#### 1.7.2. Pseudocódigo

```
Programa principal:
    writeManyTimes("Hello", 42).

writeManyTimes(s, i):
    Si i no es cero:
```

```
Write s.
WriteManyTimes(s, i-1).
```

### 1.7.3. C++

```
#include <iostream>

void WriteManyTimes(std::string, unsigned);

int main() {
    WriteManyTimes("Hello\n", 42);
}

void WriteManyTimes(std::string s, unsigned i){
    std::cout << s;
    if( 1 == i ) return;
    WriteManyTimes(s, i-1);
}
```

### 1.7.4. Assembler

Esta versión es más extensa porque utiliza optimiza la *tail-call* (llamada final).

```
## BB#0:
push rbp
Ltmp9:
.cfi_def_cfa_offset 16
Ltmp10:
.cfi_offset rbp, -16
mov rbp, rsp
Ltmp11:
.cfi_def_cfa_register rbp
sub rsp, 80
mov rax, qword ptr [rip + __ZNSt3__14coutE@GOTPCREL]
mov dword ptr [rbp - 4], esi
mov qword ptr [rbp - 56], rdi ## 8-byte Spill
mov rdi, rax
mov rsi, qword ptr [rbp - 56] ## 8-byte Reload
call
__ZNSt3__1sIcNS_11char_traitsICEENS_9allocatorICEEEERNS_13basic_ostreamIT_T0_EES9_RKN
mov ecx, 1
cmp ecx, dword ptr [rbp - 4]
mov qword ptr [rbp - 64], rax ## 8-byte Spill
```

```

jne LBB1_2
## BB#1:
jmp LBB1_4
LBB1_2:
    lea rax, [rbp - 32]
    mov rdi, rax
    mov rsi, qword ptr [rbp - 56] ## 8-byte Reload
    mov qword ptr [rbp - 72], rax ## 8-byte Spill
    call
    __ZNSt3__112basic_stringIcNS_11char_traitsICEENS_9allocatorICEEEC1ERKS5_
    mov ecx, dword ptr [rbp - 4]
    dec ecx
Ltmp6:
    mov rdi, qword ptr [rbp - 72] ## 8-byte Reload
    mov esi, ecx
    call
    __Z14writeManyTimesNSSt3__112basic_stringIcNS_11char_traitsICEENS_9allocatorICEEE
Ltmp7:
    jmp LBB1_3
LBB1_3:
    lea rdi, [rbp - 32]
    call
    __ZNSt3__112basic_stringIcNS_11char_traitsICEENS_9allocatorICEEED1Ev
LBB1_4:
    add rsp, 80
    pop rbp
    ret

```

### 1.7.5. C++ Autogenerado desde Diagrama N-S

```

#include <iostream>

// Léxico: i ∈ N, s ∈ Σ*
// function writeManyTimes(s, i)
// TODO Revise the return type and declare the parameters!
void writeManyTimes(/*type?*/ s, /*type?*/ i)
{
    std::cout << s << std::endl;
    if (1 == i) {
        return ;
    }
    writeManyTimes(s, i-1);
}

```

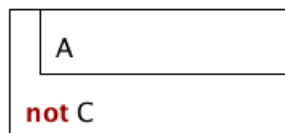
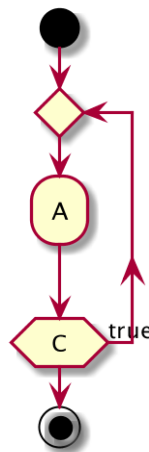
```
// program Recursion
int main(void)
{
    writeManyTimes("Hello",42);

    return 0;
}
```

## 1.8. Síntesis

### 1.8.1. Sentencia Do-While

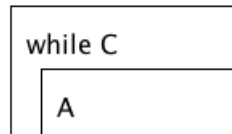
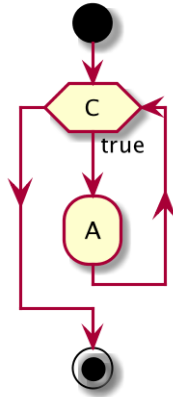
```
do
    A;
while(C);
```



### 1.8.2. Sentencia While

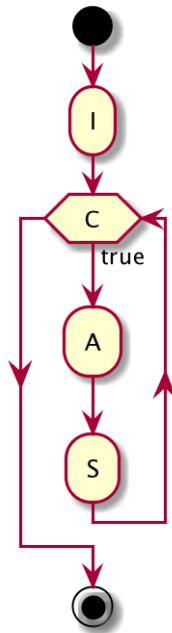
```
while(C)
```

A;



### 1.8.3. Sentencia For General

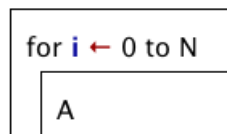
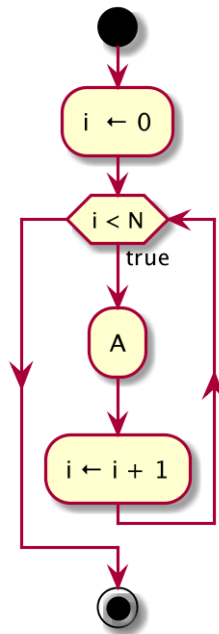
```
for(I;C;S)
  A;
```



I;C;S
A

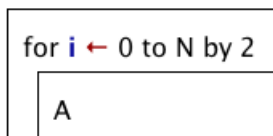
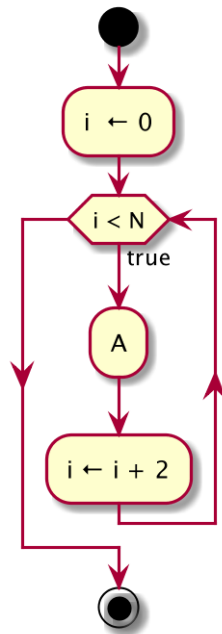
### 1.8.4. Sentencia For Iterador

```
for(unsigned i=0; i < N; ++i)
  A;
```



### 1.8.5. Sentencia For Iterador de a Paso Mayor a Uno

```
for(unsigned i=0; i < N; i+=2)  
A;
```



## 1.9. Ejercicios Propuestos

1. Investigue las sentencias `break` y `continue`.
2. Analice el programa de Jason<sup>5</sup>:
  - a. ¿Es factible una versión que decremente y no incremente?
  - b. Escriba diferentes versiones, ya sea en C o en C++, que intenten ser más simples y concisas, que minimicen la cantidad de líneas, de operaciones, y de variables.
  - c. Analice el código ensamblador generado por esas versiones y determine cuál es más eficiente.
  - d. Elija la versión que considera más clara y justifique su decisión.

<sup>5</sup> <http://www.gocomics.com/foxtrot/2003/10/03/>



3. Investigue las variantes de la sentencia `for` en *C++*.
4. Investigue las estructuras iterativas de *Basic*.
5. Investigue las estructuras iterativas de *Pascal*.
6. Resuelva el caso de estudio en *Python*.
7. Resuelva el caso de estudio en *Smalltalk*.

