

# Análisis de algoritmos iterativos

Pedro O. Pérez M., PhD.

Análisis y diseño de algoritmos  
Tecnológico de Monterrey

*pperezm@tec.mx*

06-2020

# Contenido I

Herramientas a utilizar

Reglas prácticas para el cálculo de la complejidad

- Sentencias simples

- Condicionales

- Ciclos

- Procedimientos

## Contenido II

### Calculando el $O(n)$ de algoritmos conocidos

- Iterando arreglos

- Ejercicios de revisión I

- Algoritmos de ordenamiento

- Búsqueda binaria

- Ejercicios de revisión II

## Herramientas a utilizar

- ▶ A todas las divisiones se le aplicará la función *floor*. La función *floor*(x) devuelve el entero más pequeño o igual a x. Por ejemplo,  $\text{floor}(3.3) = \text{floor}(3.99999) = \text{floor}(3.5) = 3$ .
- ▶ Propiedades de los logaritmos.
  - ▶  $\log_b a$  es una función estrictamente creciente y uno a uno.
  - ▶  $\log_b 1 = 0$ .
  - ▶  $\log_b b^a = a$ .
  - ▶  $\log_b(XY) = \log_b X + \log_b Y$
  - ▶  $\log_b X^a = a \log_b X$
  - ▶  $X^{\log_b Y} = Y^{\log_b X}$

# Herramientas a utilizar

$$\begin{aligned}(1) \quad \sum_{i=1}^n c &= c * n \\(2) \quad \sum_{i=1}^n i &= \frac{n(n+1)}{2} \\(3) \quad \sum_{i=1}^n i^2 &= \frac{2n^3+3n^2+n}{6}\end{aligned}$$

## Sentencias simples

Las sentencias simples son aquellas que ejecutan operaciones básicas, siempre y cuando no trabajen sobre variables estructuradas cuyo tamaño está relacionado con el tamaño del problema. La inmensa mayoría de las sentencias simples requieren un tiempo constante de ejecución y su complejidad es  $O(1)$ .

Ejemplos:

```
x ← 1
```

```
y ← z + x + w
```

```
print x
```

```
read x
```

## Condicionales

Los condicionales suelen ser  $O(1)$ , a menos que involucren un llamado a un procedimiento, y siempre se debe tomar la peor complejidad posible de las alternativas del condicional, bien en la rama afirmativa o bien en la rama positiva. En decisiones múltiples (*switch*) se tomará la peor de todas las ramas.

Ejemplo:

```
if  $a > b$  then
  for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
     $sum \leftarrow sum + 1$ 
  end for
else
   $sum \leftarrow 0$ 
end if
```

## Ciclos (while, for, repeat-until)

En los ciclos con un contador explícito se distinguen dos casos: que el tamaño  $n$  forme parte de los límites del ciclo, con una complejidad basada en  $n$ , o que dependa de la forma como avanza el ciclo hacia su terminación.



Si el ciclo se realiza un número constante de veces, independientemente de  $n$ , entonces la repetición solo introduce una constante multiplicativa que puede absorberse, lo cual da como resultado  $O(1)$ .

Ejemplo:

```
for  $i \leftarrow 1$  to  $k$  do  
  sentencias simples  $O(1)$   
end for
```

Si el tamaño  $n$  aparece como límite de las iteraciones, entonces la complejidad será:  $n * O(1) \rightarrow O(n)$ .

Si los ciclos son anidados...

Ejemplo:

```
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do  
  for  $j \leftarrow 1$  to  $n$  do  
    sentencias simples  $O(1)$   
  end for  
end for
```

En este caso, la complejidad sería:  $n * n * O(1) \rightarrow O(n^2)$ .

Para ciclos anidados pero con variables independientes:

Ejemplo:

```
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do  
  for  $j \leftarrow 1$  to  $i$  do  
    sentencias simples  $O(1)$   
  end for  
end for
```

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i O(1) = \sum_{i=1}^n i = \frac{n(n-1)}{2} = O(n^2)$$

A veces aparecen ciclos multiplicativos, donde la evolución de la variable de control no es lineal (como en los casos anteriores):

Ejemplo:

```
 $c \leftarrow 1$   
while  $c < n$  do  
   $c \leftarrow c * 2$   
end while
```

El valor inicial de la variable  $c$  es 1, y llega a  $2^n$  al cabo de  $n$  iteraciones  $\rightarrow \log_2 n$ .

Y la combinación de los anteriores:

Ejemplo:

```
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do  
   $c \leftarrow n$   
  while  $c > 0$  do  
     $c \leftarrow c/2$   
  end while  
end for
```

Se tiene un ciclo interno de orden  $O(\log_2 n)$  que se ejecuta  $n$  veces en el ciclo externo; por lo que, el ejemplo es de orden  $O(n \log_2 n)$ .

## Llamada a procedimientos

La complejidad de llamar a un procedimiento viene dada por la complejidad del contenido del procedimiento en sí.

Ejemplo:

$$a \leftarrow 10$$
$$b \leftarrow 20$$
$$c \leftarrow \text{FACTORIAL}(a)$$
$$z \leftarrow a + b + c$$

Si se tiene un ciclo con un llamado a una función:

Ejemplo:

```
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do  
   $x \leftarrow \text{FACTORIAL}(i)$   
end for
```

Si hay un ciclo que se realiza  $n$  veces, lo que generaría una complejidad  $O(n)$ ; pero como en su interior hay un llamado a la función *FACTORIAL*, la complejidad del ciclo es multiplicado por la complejidad de la función; en este caso sería  $O(n) * O(n) \rightarrow O(n^2)$

Si hay dos o más llamadas a funciones:

Ejemplo:

*QUICKSORT*(*array*, *n*)

*DISPLAY*(*array*, *n*)

La complejidad del *QUICKSORT* es de complejidad  $O(n \log_2 n)$  y que *DISPLAY* simplemente muestra el contenido del arreglo en la pantalla con una complejidad de  $O(n)$ , la complejidad total será mayor de los dos llamadas a las funciones,  $O(n \log_2 n)$ .



---

## Procedure 1 MAX - Return the greatest element of an array

---

Input:  $A$  : Array

```
val  $\leftarrow A[1]$ 
for  $i \leftarrow 2$  to  $A.length$  do
  if  $A[i] > val$  then
    val =  $A[i]$ 
  end if
end for
return val
```

---

---

## Procedure 2 AVERAGE - Calculate the average of the elements of an array

---

Input:  $A$  : Array

$acum \leftarrow 0$

for  $i \leftarrow 1$  to  $A.length$  do

$acum \leftarrow acum + A[i]$

end for

return  $acum / A.length$

---



---

## Procedure 4 BUBLE\_SORT -Sort the elements of an array

---

Input:  $A$  : Array

```
for  $i \leftarrow A.length$  to 2 do
  for  $j \leftarrow 1$  to  $i - 1$  do
    if  $A[j] > A[j + 1]$  then
       $SWAP(A, j, j + 1)$ 
    end if
  end for
end for
```

---

---

## Procedure 5 INSERTION\_SORT - Sort the elements of an array

---

Input:  $A$  : Array

```
for  $i \leftarrow 2$  to  $A.length$  do
   $j \leftarrow i$ 
  while  $j \geq 2$  and  $A[j] < A[j - 1]$  do
    SWAP( $A, j, j - 1$ )
     $j \leftarrow j - 1$ 
  end while
end for
```

---

---

**Procedure 6** `BINARY_SEARCH` - Return the position in which a given element is in an array; otherwise, return the position where the element should be.

---

**Input:**  $A$  : Array,  $key$  : Object

$low \leftarrow 1$

$high \leftarrow A.length$

**while**  $low < high$  **do**

$mid \leftarrow (high + low)/2$

**if**  $key = A[mid]$  **then**

**return**  $mid$

**else if**  $key < A[mid]$  **then**

$high \leftarrow mid - 1$

**else**

$low \leftarrow mid + 1$

**end if**

**end while**

**return**  $low$

## Ejercicio de revisión

---

### Procedure 7 SELECTION\_SORT - Sort the elements of an array

---

**Input:**  $A$  : Array

```
for  $i \leftarrow A.length$  to 2 do
   $higher \leftarrow 1$ 
  for  $j \leftarrow 2$  to  $i$  do
    if  $A[higher] < A[j]$  then
       $higher \leftarrow j$ 
    end if
  end for
  if  $higher \neq j$  then
     $SWAP(A, higher, j)$ 
  end if
end for
```

---

## Ejercicio de revisión

---

### Procedure 8 POW2 - Calculate exponentiation by squaring

---

```
result  $\leftarrow$  1  
while  $n > 0$  do  
  if  $n \bmod 2 = 1$  then  
    result  $\leftarrow$  result *  $x$   
  end if  
   $n \leftarrow n/2$   
   $x \leftarrow x * x$   
end while  
return result
```

---