



**Universidad Autónoma de San Luis Potosí**

**Facultad de Ingeniería**

**Área en Ciencias de la Computación**



---

# **Estructuras de Datos II**

---

**Semestre: Agosto – Diciembre 2022**

**Alumno: Esparza Castañeda Hugo**

**Profesor: M. en C. Froylán Eloy Hernández Castro**





<b>Unidad 1</b>	<b>APUNTADORES</b>	<b>1</b>
	1.1. Introducción a apuntadores	1
	1.2. Parámetros por valor/referencia	1
	1.3. Apuntadores a apuntadores	2
	1.4. Apuntadores y arreglos	2
<b>TAREA</b>	<b>Tarea #0:</b> Resumen del video “Pointers”	3
	1.5 Aritmética de apuntadores	4
<b>TAREA</b>	<b>Tarea #1:</b> Aritmética de apuntadores	6
	1.6. Gestión de memoria dinámica	19
	1.7. Estados de la memoria dinámica	20
	1.8. Problemas en el manejo de la memoria dinámica	20
	1.9. Arreglos dinámicos	22
	1.10. Matriz dinámica	23
<b>TAREA</b>	<b>Tarea #2:</b> Arreglos dinámicos	25
	1.11. Apuntadores por “referencia”	37
	1.12. realloc	37
	1.13. Pila dinámica	38
	1.14. Estructuras dinámicas	39
	1.15. Apuntadores genéricos	40
<b>TRABAJO</b>	<b>Trabajo en clase:</b> “Arreglo dinámico”	
<b>TAREA</b>	<b>Tarea #3:</b> Arreglos redimensionables	
<b>TRABAJO</b>	<b>Trabajo en clase:</b> “Farmacia con medicamentos genéricos y de patente”	
<b>EXAMEN</b>	<b>Examen Primer Parcial</b>	
<b>Unidad 2</b>	<b>LISTAS ENLAZADAS</b>	
	2.1. Listas simples	
	2.1.1. Definir la estructura del nodo	
	2.1.2. Funciones de listas simples	
<b>TAREA</b>	<b>Tarea #4:</b> Listas simples enlazadas	
	2.2. Pilas, colas y conjuntos	
	2.2.1. Pilas con listas	
	2.2.2. Colas con listas	
	2.2.3. Conjuntos con listas	

**TAREA****Tarea #5:** Conjuntos con listas enlazadas

## 2.3. Listas circulares

## 2.3.1. Funciones de listas circulares

## 2.4. Listas dobles

## 2.4.1. Funciones de listas dobles

## 2.5. Listas circulares doblemente enlazadas

## 2.5.1. Funciones de listas circulares doblemente enlazadas

## 2.6. Listas circulares doblemente enlazadas con centinela

## 2.6.1. Funciones de listas circulares doblemente enlazadas con centinela

**TAREA****Tarea #6:** Listas doblemente enlazadas con centinela**EXAMEN****Examen Segundo Parcial**

## 2.7. Listas de listas

## 2.7.1. Funciones de listas de listas

**TRABAJO****Trabajo en clase:** “Actividad Vuelos de Avión”**TRABAJO****Trabajo en clase:** “Actividad Biblioteca”**TAREA****Tarea #7:** Listas de listas**Unidad 3****GRAFOS**

## 3.1. Estructuras de grafos

## 3.2. Ejercicio, matriz de adyacencia

## 3.3. Ejercicio biblioteca

## 3.4. Operaciones sobre grafos

## 3.5. Grado de un vértice

**TAREA****Tarea #8:** Operaciones sobre Grafos**EXAMEN****Examen Tercer Parcial****Unidad 4****ÁRBOLES BINARIOS**

## 4.1. Conceptos básicos de árboles binarios

## 4.2. Árboles binarios de expresiones

## 4.2.1. Definir la estructura del nodo

## 4.2.2. Función evalúa

## 4.3. Construcción de un árbol binario de expresiones

**TAREA****Tarea #9:** Árboles de Expresiones

## 4.4. Árboles binarios de búsqueda



#### 4.5. Búsqueda en un árbol binario de búsqueda

##### 4.5.1. Tipos de recorridos

#### 4.6. Eliminación ABB

**TAREA****Tarea #10: Árboles Binarios de Búsqueda**

#### 4.7. Árboles binarios balanceados

##### 4.7.1. Rotaciones simples

#### 4.8. Ejemplo de árboles AVL

#### 4.9. Casos generales de rotación AVL

**TAREA****Tarea #11: Árboles AVL****Unidad 1****ÁRBOLES MULTICAMINOS**

#### 5.1. Árboles B

#### 5.2. Definiciones/propiedades de un árbol B

#### 5.3. Ejemplo de inserción en un árbol B de orden 2

#### 5.4. Ejemplo de inserción en Árboles B

#### 5.5. Eliminación en Árboles B

#### 5.6. Árboles B+

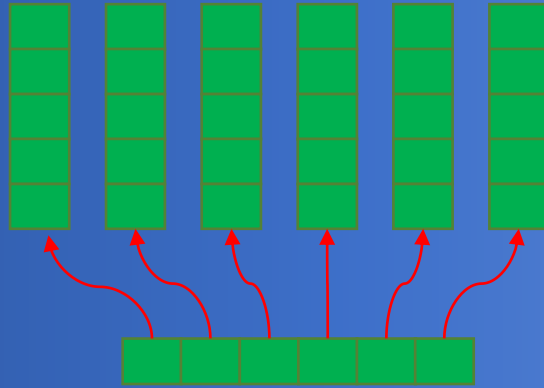
#### 5.7. Inserción en Árboles B+

#### 5.8. Eliminación en Árboles B+

**EXAMEN****Examen Cuarto Parcial**



# 1. APUNTADORES

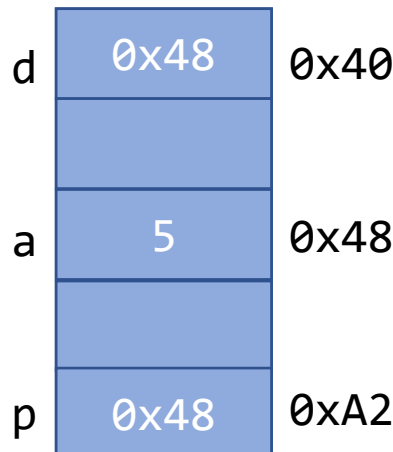


## 1.1 Introducción a apuntdores

**Objetivo:** Conocer el concepto de apuntdores en el paso de parámetros de funciones y gestión de memoria (Dinámica), así como ser capaz de utilizarlos.

**Apuntador:** un apuntador es una variable que contiene una dirección de memoria pero su contenido es otra dirección de memoria.

```
1 int main(){
2     int a;
3     a = 5;
4     int *p;
5     p = &a;
6     int *d;
7     d = p;
8     return 0;
9 }
```



```
printf("%d", a); //output: 5
printf("%d", *p); //output: 5
printf("%p", p); //output: 0x48
printf("%d", *d); //output: 5
printf("%p", d); //output: 0x48
```

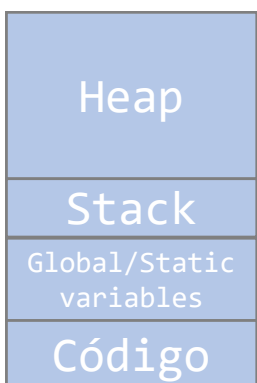
$a = 10; \Leftrightarrow *p = 10$

$\text{scanf}(\text{"\%d"}, p) \Leftrightarrow \text{scanf}(\text{"\%d"}, \&a)$

## 1.2 Parámetros por valor/referencia

Jueves 18 Agosto 2022

### Memoria

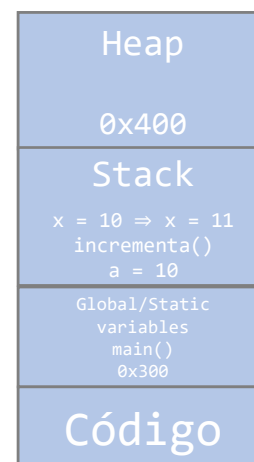


Memoria Dinámica

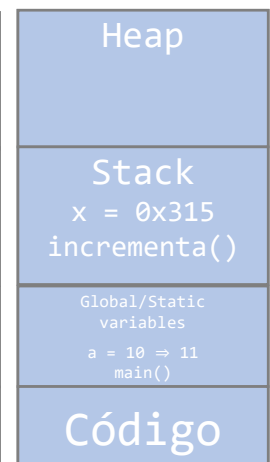
Memoria Automática

```
1 #include <stdio.h>
2 void incrementa(int *);
3 int main(){
4     int a;
5     a = 10;
6     incrementa(&a);
7     printf("%d", a);
8     return 0;
9 }
10
11 void incrementa(int *x){
12     *x = *x + 1;
13     return;
14 }
```

### Por valor



### Por referencia



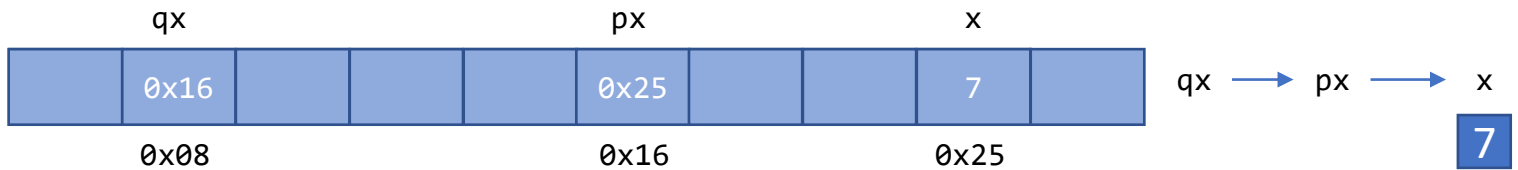


```
int *r;  ⇒  int *r = NULL;
```



### 1.3 Apuntadores a apuntadores

Viernes 19 Agosto 2022



```

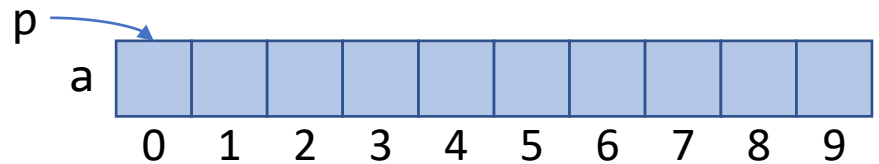
1  #include <stdio.h>
2  int main(){
3      int x = 7; //entero
4      int *px = &x; //apuntador
5      int **qx = &px; //apuntador a apunt
6      printf("%p\n", px); //output: 0x25
7      printf("%d\n", *px); //output: 7
8      printf("%p\n", &x); //output: 0x25
9      printf("%p\n", &px); //output: 0x16
10     printf("%p\n", &qx); //output: 0x08
11     printf("%p\n", qx); //output: 0x16
12     printf("%p\n", *qx); //output: 0x25
13     return 0;
14 }
```

\* = indirección = Obtener el valor almacenado en una dirección.  
 & = dirección = Obtener la dirección de una variable.

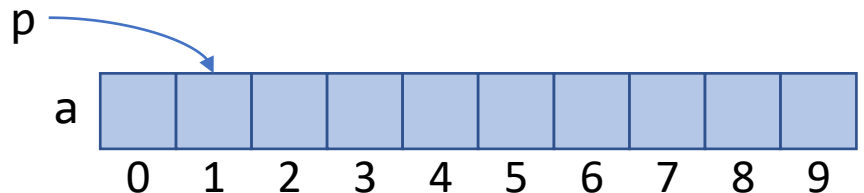
Los apuntadores a apuntadores se usan para matrices dinámicas.

### 1.4 Apuntadores y arreglos

```
int a[10];
int *p = a; ⇒ int *p = &a[0];
```

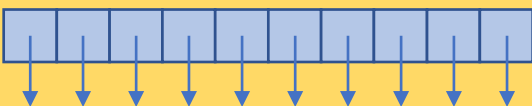


```
p = p + 1;
```



#### Arreglo de apuntadores

```
int *b[10];
```



#### Arreglo de apuntadores apuntando a NULL

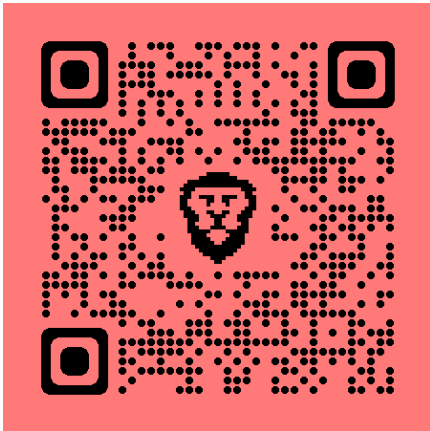
```
for(int i = 0; i < 10; i++){
    b[i] = NULL;
}
```

⇔ `int *b[10] = {NULL};`





## Tarea #0: Resumen del video "Pointers"



Los punteros es uno de los temas más difíciles, sin embargo son de mucha utilidad, como por ejemplo al pasar datos a una función, modificarlos y luego regresarlos, cosa que no podría hacerse de otra manera.

Cuando pasamos un dato por valor a una función, lo que estamos pasando es en realidad una copia, sin embargo, cuando pasamos el dato por referencia haciendo el uso de punteros, lo que hacemos es darle acceso a la memoria en donde esta almacenado dicho valor, haciendo que todos los cambios que realicemos en la función, le sucedan al valor mismo.

Cada archivo de nuestra computadora esta almacenado en el disco duro, o en un disco de estado solido, según sea el caso. Esos discos son solo de almacenamiento, por lo tanto, no podemos trabajar directamente ahí, la

manipulación de los datos únicamente puede hacerse en la memoria RAM, por lo que tenemos que movernos ahí. La memoria RAM es como un arreglo enorme. La memoria RAM es Memoria de Acceso Aleatorio, y una vez que apagamos la computadora, todos los datos de la memoria RAM se destruyen.

Retomando lo que dijimos hace un momento que la memoria RAM es un arreglo enorme dividido en celdas de bytes (dependiendo del tamaño del tipo de dato), así como los arreglos tienen índices para cada valor guardado, la memoria tiene una dirección para cada dato almacenado.

Las variables de tipo str o cadena de texto, necesitan llevar el '\0' para poder saber donde terminan. Una vez aclarado el tema de la memoria, lo más importante de recordar sobre los punteros es, que son solo direcciones de memoria.

Entonces, un puntero es un tipo de dato que guarda una dirección, y el tipo únicamente nos describe el dato guardado en esa dirección de memoria.

Al saber la dirección de la memoria en donde esta guardada una variable, podemos ir directamente a esa ubicación en la memoria y manipular el dato, es por eso que no es necesario hacer una copia cuando enviamos un valor por referencia en una función.

El puntero más simple en C es el puntero NULL, que como su nombre o indica, no apunta a nada (lo cual en realidad puede ser muy útil). Siempre que declaramos un puntero, y no le asignamos una dirección, debemos hacer NULL el valor de ese puntero (son buenas practicas de programación). Podemos extraer la dirección de una variable con el operador & (como en los ejemplos anteriores).

El propósito principal de un puntero es permitirnos modificar o inspeccionar la ubicación a la que apunta.

Si tenemos un puntero pc, entonces \*pc es el dato que vive en la dirección de memoria guardada en pc.

Usado en contexto, \* es el operador que nos permite acceder al dato almacenado en la dirección, dicho de otro modo, no nos sirve únicamente saber la dirección, también debemos ir allí, y el operador \* nos permite hacerlo.

Por lo tanto, cuando tenemos un puntero que apunta a NULL, es decir a nada, e intentamos ir a esa dirección con el operador \* nos aparecerá el error segmentation fault.

Es por esto la importancia de declarar todos los apuntadores a NULL cuando no se les asigna inmediatamente una dirección significativa, ya que si no lo hacemos, nuestro apuntador podría apuntar a cualquier espacio de memoria y manipularlo accidentalmente.

Tipo de dato	Tamaño (en bytes)
int	4
char	1
float	4
double	8
long long	8
char*	4 u 8

## 1.5

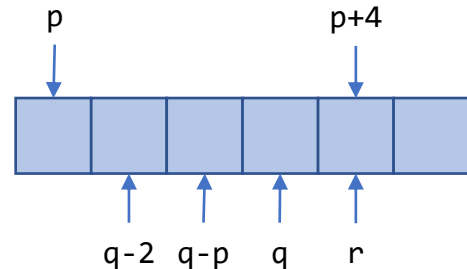
## Aritmética de apuntadores

Lunes 22 Agosto 2022

Operador	Nombre
*	Indirección
&	Dirección
->	Apunta a
+	Suma
-	Resta
==	Igualdad
!=	Desigualdad
>	Comparación de direcciones
>=	
<	
<=	
(tipo de dato)	Cast ó conversión explícita

## Operaciones aritméticas sobre apuntadores

1. Sumar un entero a un apuntador.
2. Restar un entero a un apuntador.
3. Restar dos apuntadores.
4. Comparaciones.



$p < q$  True  
 $p == q$  False  
 $q \geq p$  True

$q == r + 1$  False  
 $q + 1 == r$  True

## Ejemplo 1:

```

1  #include <stdio.h>
2  int main(){
3      int a[] = {28, 41, 7};
4      int *pi = a;
5      printf("%d\n", *pi); //output: 28
6      pi += 1;
7      printf("%d\n", *pi); //output: 41
8      pi++;
9      printf("%d\n", *pi); //output: 7
10     ++pi;
11     printf("%d\n", *pi); //output: ???
12     return 0;
13 }
```

## Ejemplo 2:

```

1  #include <stdio.h>
2  int main(){
3      short s;
4      short *ps = &s;
5      char c;
6      char *pc = &c;
7      printf("%p\n", ps); //output: 0x7ffcca0af8c6
8      ps = ps + 1;
9      printf("%p\n", ps); //output: 0x7ffcca0af8c8
10     printf("%p\n", pc); //output: 0x7ffcca0af8c5
11     pc = pc + 1;
12     printf("%p\n", pc); //output: 0x7ffcca0af8c6
13     return 0;
14 }
```

short = 2 bytes, char = 1 byte

Martes 23 Agosto 2022

## Ejemplo 3: Función strlen

```

1  int strlen(char *s){
2      char *p = s;
3      while(*p != '\0'){
4          p++;
5      }
6      return p-s;
7  }
```

## Ejemplo 4: Función strcpy

```

1  void strcpy(char *s, char *t){
2      while((*s = *t) != '\0'){
3          s++;
4          t++;
5      }
6      return;
7  }
```

## Ejemplo 5: Función strcmp

```

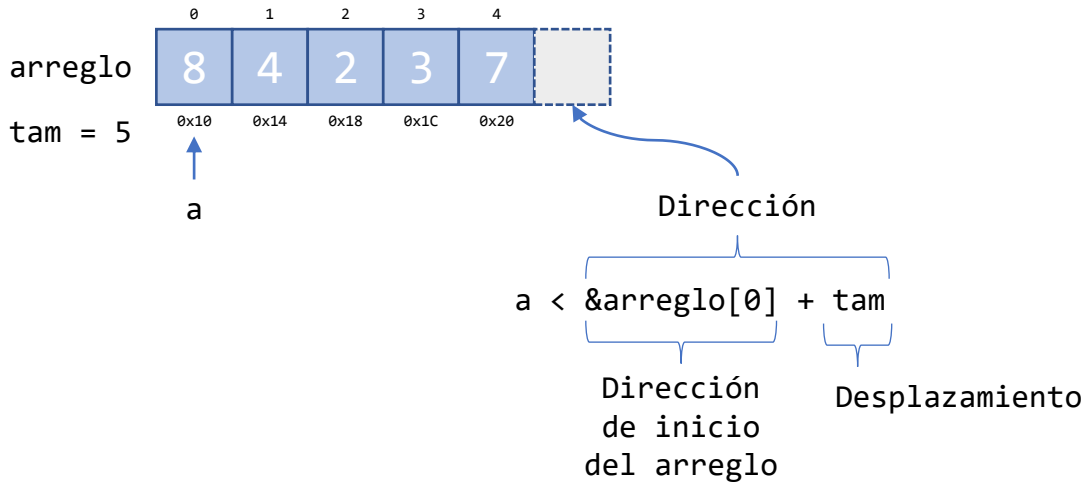
1  int strcmp(char *s, char *t){
2      for(; *s == *t; s++, t++){
3          if(*s == '\0'){
4              return 0;
5          }
6      }
7      return *s - *t;
8  }
```



## Problema

Obtener la suma de los elementos de un arreglo de enteros de un tamaño determinado, usando aritmética de apuntadores.

```
int arreglo[5] = {8 4, 2, 3, 7};
```



### Con ciclo for

```
1  #include <stdio.h>
2  int suma(int, int []);
3  int main(){
4      int tam = 5;
5      int arreglo[5] = {8, 4, 2, 3, 7};
6      int p = suma(tam, arreglo);
7      printf("%d\n", p);
8      return 0;
9  }
10
11 int suma(int tam, int arreglo[tam]){
12     int sum = 0;
13     int *a = arreglo;
14     for(int *a = arreglo; a - arreglo < tam; a++){
15         sum += *a;
16     }
17     return sum;
18 }
```

### Con ciclo while (más elegante)

```
1  #include <stdio.h>
2  int suma(int, int []);
3  int main(){
4      int tam = 5;
5      int arreglo[5] =
6      {8, 4, 2, 3, 7};
7      int p = suma(tam, arreglo);
8      printf("%d\n", p);
9      return 0;
10 }
11
12 int suma(int tam, int arreglo[tam]){
13     int sum = 0;
14     int *a = arreglo;
15     int *b = &arreglo[tam];
16     while(a < b){
17         sum += *a++;
18     }
19     return sum;
20 }
```

`arreglo`  $\Rightarrow$  `&arreglo[0]`

`&arreglo[tam]`  $\Rightarrow$  too-far pointer  
no forma parte  
del arreglo



## Tarea #1: Aritmética de apuntadores

### Instructions

Given any two lists **A** and **B**, determine if:

- List **A** is equal to list **B**; or
- List **A** contains list **B** (**A** is a superlist of **B**); or
- List **A** is contained by list **B** (**A** is a sublist of **B**); or
- None of the above is true, thus lists **A** and **B** are unequal

Specifically, list **A** is equal to list **B** if both lists have the same values in the same order.

List **A** is a superlist of **B** if **A** contains a sub-sequence of values equal to **B**.

List **A** is a sublist of **B** if **B** contains a sub-sequence of values equal to **A**.

Examples:

- If **A** = [] and **B** = [] (both lists are empty), then **A** and **B** are equal
- If **A** = [1, 2, 3] and **B** = [], then **A** is a superlist of **B**
- If **A** = [] and **B** = [1, 2, 3], then **A** is a sublist of **B**
- If **A** = [1, 2, 3] and **B** = [1, 2, 3, 4, 5], then **A** is a sublist of **B**
- If **A** = [3, 4, 5] and **B** = [1, 2, 3, 4, 5], then **A** is a sublist of **B**
- If **A** = [3, 4] and **B** = [1, 2, 3, 4, 5], then **A** is a sublist of **B**
- If **A** = [1, 2, 3] and **B** = [1, 2, 3], then **A** and **B** are equal
- If **A** = [1, 2, 3, 4, 5] and **B** = [2, 3, 4], then **A** is a superlist of **B**
- If **A** = [1, 2, 4] and **B** = [1, 2, 3, 4, 5], then **A** and **B** are unequal
- If **A** = [1, 2, 3] and **B** = [1, 3, 2], then **A** and **B** are unequal



### sublist.h

```
#ifndef SUBLIST_H
#define SUBLIST_H

#include <stddef.h>

typedef enum { EQUAL, UNEQUAL, SUBLIST, SUPERLIST } comparison_result_t;

comparison_result_t check_lists(int *list_to_compare_begin, int *list_to_compare_end,
                                int *base_list_begin, int *base_list_end);

#endif
```



## test\_sublist.c

```
#include "test-framework/unity.h"
#include "sublist.h"
#define ELEMENT_COUNT(array) (sizeof(array) / sizeof(array[0]))
void setUp(void){
}

void tearDown(void){
}

static void test_empty_lists(void){
    TEST_IGNORE(); // delete this line to run test
    TEST_ASSERT_EQUAL(EQUAL, check_lists(NULL, NULL, NULL, NULL));
}

static void test_empty_list_within_non_empty_list(void){
    TEST_IGNORE();
    int base_list[] = { 1, 2, 3 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUBLIST,
        check_lists(NULL, NULL, base_list, base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_non_empty_list_contains_empty_list(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2, 3 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUPERLIST, check_lists(list_to_compare,
        list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
        NULL, NULL));
}

static void test_list_equals_itself(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2, 3 };
    int base_list[] = { 1, 2, 3 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(EQUAL, check_lists(list_to_compare,
        list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
        base_list,
        base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_different_lists(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2, 3 };
    int base_list[] = { 2, 3, 4 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(UNEQUAL, check_lists(list_to_compare,
        list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
        base_list,
        base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}
```



```
static void test_false_start(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2, 5 };
    int base_list[] = { 0, 1, 2, 3, 1, 2, 5, 6 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUBLIST, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_consecutive(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 1, 2 };
    int base_list[] = { 0, 1, 1, 1, 2, 1, 2 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUBLIST, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_sublist_at_start(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 0, 1, 2 };
    int base_list[] = { 0, 1, 2, 3, 4, 5 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUBLIST, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_sublist_at_middle(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 2, 3, 4 };
    int base_list[] = { 0, 1, 2, 3, 4, 5 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUBLIST, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_sublist_at_end(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 3, 4, 5 };
    int base_list[] = { 0, 1, 2, 3, 4, 5 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUBLIST, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}
```



```
static void test_at_start_of_superlist(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 0, 1, 2, 3, 4, 5 };
    int base_list[] = { 0, 1, 2 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUPERLIST, check_lists(list_to_compare,
                                              list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                              base_list,
                                              base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_in_middle_of_superlist(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 0, 1, 2, 3, 4, 5 };
    int base_list[] = { 2, 3 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUPERLIST, check_lists(list_to_compare,
                                              list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                              base_list,
                                              base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_at_end_of_superlist(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 0, 1, 2, 3, 4, 5 };
    int base_list[] = { 3, 4, 5 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(SUPERLIST, check_lists(list_to_compare,
                                              list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                              base_list,
                                              base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_first_list_missing_element_from_second_list(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 3 };
    int base_list[] = { 1, 2, 3 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(UNEQUAL, check_lists(list_to_compare,
                                              list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                              base_list,
                                              base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_second_list_missing_element_from_first_list(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2, 3 };
    int base_list[] = { 1, 3 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(UNEQUAL, check_lists(list_to_compare,
                                              list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                              base_list,
                                              base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}
```



```
static void test_first_list_missing_additional_digits_from_second_list(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2 };
    int base_list[] = { 1, 22 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(UNEQUAL, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_order_matters_to_a_list(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2, 3 };
    int base_list[] = { 3, 2, 1 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(UNEQUAL, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_same_digits_but_different_numbers(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 0, 1 };
    int base_list[] = { 10, 1 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(UNEQUAL, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

static void test_different_signs(void){
    TEST_IGNORE();
    int list_to_compare[] = { 1, 2, 3 };
    int base_list[] = { 1, -2, 3 };

    TEST_ASSERT_EQUAL(UNEQUAL, check_lists(list_to_compare,
                                            list_to_compare+ELEMENT_COUNT(list_to_compare),
                                            base_list,
                                            base_list+ELEMENT_COUNT(base_list)));
}

int main(void){
    UnityBegin("test_sublist.c");
    RUN_TEST(test_empty_lists);
    RUN_TEST(test_empty_list_within_non_empty_list);
    RUN_TEST(test_non_empty_list_contains_empty_list);
    RUN_TEST(test_list_equals_itself);
    RUN_TEST(test_different_lists);
    RUN_TEST(test_false_start);
    RUN_TEST(test_consecutive);
    RUN_TEST(test_sublist_at_start);
    RUN_TEST(test_sublist_at_middle);
    RUN_TEST(test_sublist_at_end);
    RUN_TEST(test_at_start_of_superlist);
    RUN_TEST(test_in_middle_of_superlist);
    RUN_TEST(test_at_end_of_superlist);
    RUN_TEST(test_first_list_missing_element_from_second_list);
    RUN_TEST(test_second_list_missing_element_from_first_list);
    RUN_TEST(test_first_list_missing_additional_digits_from_second_list);
    RUN_TEST(test_order_matters_to_a_list);
    RUN_TEST(test_same_digits_but_different_numbers);
    RUN_TEST(test_different_signs);
    return UnityEnd();
}
```





## sublist.c

```
1  #include "sublist.h"
2  comparison_result_t check_lists(int *list_to_compare_begin, int *list_to_compare_end,
3                                  int *base_list_begin, int *base_list_end){
4      //Test 01
5      //Primero verificamos que no esten vacios los dos
6      if(list_to_compare_begin == NULL && base_list_begin == NULL){
7          return EQUAL;
8      }
9      //Test 02
10     //Revisamos si la lista a comparar esta vacia, pero otra no
11     else if(base_list_begin != NULL && list_to_compare_begin == NULL){
12         return SUBLIST;
13     }
14     //Test 03
15     //Revisamos si la lista base esta vacia, pero la segunda no
16     else if(list_to_compare_begin != NULL && base_list_begin == NULL){
17         return SUPERLIST;
18     }
19     //Cuando las dos listas no estan vacias
20     else{
21         //Cuando son del mismo tamaño
22         if(list_to_compare_end - list_to_compare_begin == base_list_end - base_list_begin){
23             int *alc = list_to_compare_begin;
24             int *alb = base_list_begin;
25             //Compara uno por uno
26             while(alc < list_to_compare_end){
27                 if(*alc == *alb){
28                     alc++;
29                     alb++;
30                 }
31                 //Si hay por lo menos uno diferente
32                 //Test 05, 16, 17, 19
33                 else{
34                     return UNEQUAL;
35                 }
36             }
37             //Si el ciclo termina sin diferencias
38             //Test 04
39             return EQUAL;
40         }
41         //Cuando la lista base es mas grande
42         else if(base_list_end - base_list_begin > list_to_compare_end - list_to_compare_begin){
43             int *alc = list_to_compare_begin;
44             int *alb = base_list_begin;
45             int t = 0;
46             int *tmp = NULL;
47             while(alb < base_list_end){
48                 if(*alc == *alb){
49                     alc++;
50                     t++;
51                     if(t == 1){
52                         tmp = alb;
53                     }
54                     else if(t == list_to_compare_end - list_to_compare_begin){
```



```
55         return SUBLIST;
56     }
57     alb++;
58 }
59 else{
60     alc = list_to_compare_begin;
61     if(t == 0){
62         alb++;
63     }
64     else{
65         t = 0;
66         alb = tmp + 1;
67     }
68 }
69 }
70 return UNEQUAL;
71 }
72 //Cuando la lista a comparar es más grande
73 else{
74     int *alc = list_to_compare_begin;
75     int *alb = base_list_begin;
76     int t = 0;
77     int *tmp = NULL;
78     while(alc < list_to_compare_end){
79         if(*alc == *alb){
80             alb++;
81             t++;
82             if(t == 1){
83                 tmp = alc;
84             }
85             else if(t == base_list_end - base_list_begin){
86                 return SUPERLIST;
87             }
88             alc++;
89         }
90         else{
91             alb = base_list_begin;
92             if(t == 0){
93                 alc++;
94             }
95             else{
96                 t = 0;
97                 alc = tmp + 1;
98             }
99         }
100     }
101     return UNEQUAL;
102 }
103 }
104 }
```



## 1. Explique su algoritmo para determinar que dos arreglos son iguales.

```

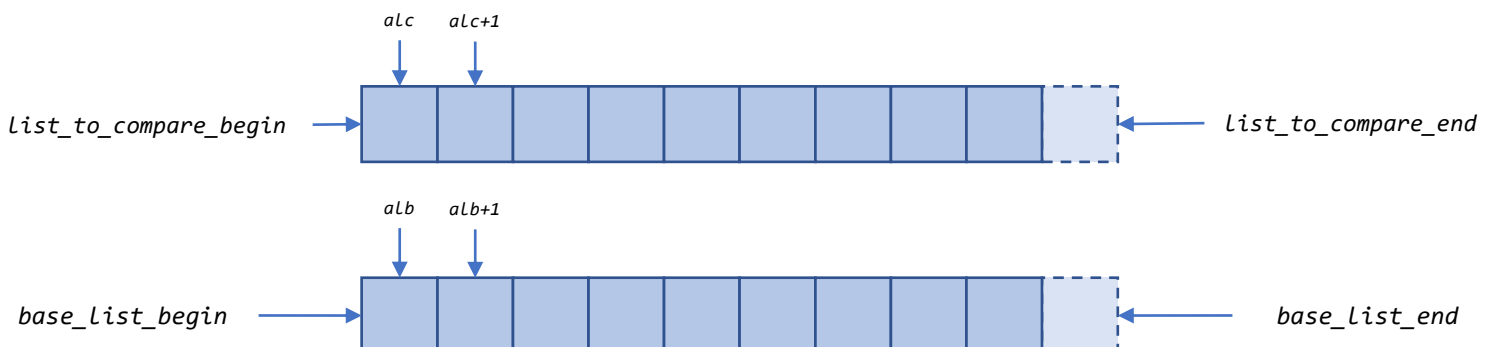
5 //Primero verificamos que no esten vacios los dos
6 if(list_to_compare_begin == NULL && base_list_begin == NULL){
7     return EQUAL;
8 }
19 //Cuando las dos listas no estan vacias
20 else{
21     //Cuando son del mismo tamaño
22     if(list_to_compare_end - list_to_compare_begin == base_list_end - base_list_begin){
23         int *alc = list_to_compare_begin;
24         int *alb = base_list_begin;
25         //Compara uno por uno
26         while(alc < list_to_compare_end){
27             if(*alc == *alb){
28                 alc++;
29                 alb++;
30             }
31             //Si hay por lo menos uno diferente
32             //Test 05, 16, 17, 19
33             else{
34                 return UNEQUAL;
35             }
36         }
37         //Si el ciclo termina sin diferencias
38         //Test 04
39         return EQUAL;
40     }

```

Primero pongo un caso base para cuando los dos arreglos están vacíos (líneas de código de la 6 a la 8), si los apuntadores del inicio apuntan a NULL, quiere decir que no hay elementos en ninguno y son iguales.

Después, para cuando los arreglos no están vacíos y son del mismo tamaño (líneas de código de la 22 a la 40), primero confirmo eso con un condicional `if`, en el que utilizo aritmética de apuntadores restando el final con el principio de cada arreglo y luego los comparo. Una vez hecho eso, creo dos apuntadores, donde cada uno apunta al principio de cada arreglo, esto para no mover de lugar los originales y para escribir menos. Luego doy inicio a un ciclo `while` que se va a repetir desde el principio del arreglo a comparar (podría ser cualquiera, ya que son del mismo tamaño), hasta que el apuntador quede en donde termina el mismo arreglo.

Dentro del ciclo `while` hay un condicional `if` en donde comparo si lo que hay en el principio del arreglo base, es lo mismo que hay en el arreglo a comparar, en caso de que sea verdad, le sumo uno a cada apuntador para comparar los siguientes, en caso de que haya una diferencia, la función regresa `UNEQUAL` y por ende termina la función, en caso de que nunca haya uno diferente, el ciclo `while` termina sin entrar en el `else`, y regresa `EQUAL`.





## 2. Explique su algoritmo para determinar que un arreglo es subarreglo de otro.

```
41 //Cuando la lista base es mas grande
42 else if(base_list_end - base_list_begin > list_to_compare_end - list_to_compare_begin){
43     int *alc = list_to_compare_begin;
44     int *alb = base_list_begin;
45     int t = 0;
46     int *tmp = NULL;
47     while(alb < base_list_end){
48         if(*alc == *alb){
49             alc++;
50             t++;
51             if(t == 1){
52                 tmp = alb;
53             }
54             else if(t == list_to_compare_end - list_to_compare_begin){
55                 return SUBLIST;
56             }
57             alb++;
58         }
59         else{
60             alc = list_to_compare_begin;
61             if(t == 0){
62                 alb++;
63             }
64             else{
65                 t = 0;
66                 alb = tmp + 1;
67             }
68         }
69     }
70     return UNEQUAL;
71 }
```

Lo primero es comprobar que el arreglo base sea más grande, eso lo hice con aritmética de apuntadores (línea 42). Aquí lo que hago es un ciclo para recorrer todo el arreglo base para buscar que estén todos los números del arreglo a comparar, así mismo, debo corroborar que estén en el mismo orden, sin importar en que parte del arreglo base, pero que vayan seguidos y en el mismo orden, entonces cada vez que encuentro al primero en coincidir, guardo esa dirección en un apuntador temporal, esto por si el orden se rompe, y así poder volver a comenzar una casilla después de esa. También puse un contador t, el cual me decía si los encontraba a todos, porque podía darse el caso de que encontrara solo a la mitad en el mismo orden, y al final, entonces eso me permitía saber si fueron todos, en el momento en que los encontraba a todos, regresaba SUBLIST, y en caso contrario, UNEQUAL.



### 3. Explique su algoritmo para determinar que un arreglo es superarreglo de otro.

```
72      //Cuando la lista a comparar es más grande
73      else{
74          int *alc = list_to_compare_begin;
75          int *alb = base_list_begin;
76          int t = 0;
77          int *tmp = NULL;
78          while(alc < list_to_compare_end){
79              if(*alc == *alb){
80                  alb++;
81                  t++;
82                  if(t == 1){
83                      tmp = alc;
84                  }
85                  else if(t == base_list_end - base_list_begin){
86                      return SUPERLIST;
87                  }
88                  alc++;
89              }
90              else{
91                  alb = base_list_begin;
92                  if(t == 0){
93                      alc++;
94                  }
95                  else{
96                      t = 0;
97                      alc = tmp + 1;
98                  }
99              }
100          }
101          return UNEQUAL;
102      }
```

De la línea 73 a la 102, está el algoritmo para una superlista, que es el caso cuando el arreglo a comparar es más grande que el arreglo base, básicamente es el mismo código que el de la sublista, con la diferencia de que cambio de lugar las variables del arreglo base con las del arreglo a comparar, y viceversa.



### 4. ¿Qué es una enumeración (enum) en el lenguaje C?

Es definir un conjunto de cadenas de texto, en donde cada cadena de texto equivale a un valor entero (int), que en este caso, será el índice en el que fue colocado en enum.



5. ¿Cuál es el nombre de la prueba (test) que le resultó más difícil pasar?

Pues en sí no estuvieron difíciles, pero digamos que las que me tomaron más tiempo en pasar, fueron las de sublistas y superlistas, esto fue porque leí mal las indicaciones y tuve que volver a escribirlas porque al principio solo checaba que estuvieran todos los valores, no que estuvieran en el mismo orden y todos seguidos.



6. ¿Hubo alguna prueba (test) que no pudo pasar? ¿Cuál fue? ¿Qué errores obtuvo?

No, si las pude pasar todas.



7. ¿Aplicó la refactorización en su código? Explique de qué manera lo hizo

Sí, al principio resolví todo dentro de esa misma función, entonces creé más funciones para separar el código, dejando únicamente los casos base en la función original, eso también ayudo a no repetir el código de superlista y sublistas, a continuación pongo cada función.

### Prototipos de funciones y función principal

```
1  #include "sublist.h"
2
3  comparison_result_t iguales(int *alc, int *alb, int *blc);
4
5  comparison_result_t tipo_arr(int *alc, int *alb, int *blc, int *blb);
6
7  comparison_result_t check_lists(int *list_to_compare_begin, int *list_to_compare_end,
8                                int *base_list_begin, int *base_list_end){
9      if(list_to_compare_begin == NULL && base_list_begin == NULL){
10         return EQUAL;
11     }
12     else if(base_list_begin != NULL && list_to_compare_begin == NULL){
13         return SUBLIST;
14     }
15     else if(list_to_compare_begin != NULL && base_list_begin == NULL){
16         return SUPERLIST;
17     }
18     else{
19         if(list_to_compare_end - list_to_compare_begin == base_list_end - base_list_begin){
20             return iguales(list_to_compare_begin, base_list_begin, list_to_compare_end);
21         }
22         else if(base_list_end - base_list_begin > list_to_compare_end - list_to_compare_begin){
23             return tipo_arr(list_to_compare_begin, base_list_begin, list_to_compare_end, base_list_end);
24         }
25         else{
26             if(tipo_arr(base_list_begin, list_to_compare_begin, base_list_end, list_to_compare_end) == 1){
27                 return UNEQUAL;
28             }
29             else{
30                 return SUPERLIST;
31             }
32         }
33     }
34 }
```



## Función para comprobar si son iguales

```
1  comparison_result_t iguales(int *alc, int *alb, int *blc){
2      while(alc < blc){
3          if(*alc == *alb){
4              alc++;
5              alb++;
6          }
7          else{
8              return UNEQUAL;
9          }
10     }
11     return EQUAL;
12 }
```

## Función para saber si es sublista o superlista

```
1  comparison_result_t tipo_arr(int *alc, int *alb, int *blc, int *blb){
2      int *beg = alc;
3      int *beg2 = blc;
4      int t = 0;
5      int *tmp = NULL;
6      while(alb < blb){
7          if(*alc == *alb){
8              alc++;
9              t++;
10             if(t == 1){
11                 tmp = alb;
12             }
13             else if(t == beg2 - beg){
14                 return SUBLIST;
15             }
16             alb++;
17         }
18         else{
19             alc = beg;
20             if(t == 0){
21                 alb++;
22             }
23             else{
24                 t = 0;
25                 alb = tmp + 1;
26             }
27         }
28     }
29     return UNEQUAL;
30 }
```



8. ¿Qué hizo particularmente bien en esta tarea?

Aplicar correctamente aritmética de apuntadores en mi código, así como la implementación de apuntadores en funciones.



9. ¿Qué pudo haber hecho mejor en la tarea?

Tomarme el tiempo suficiente para leer a detalle los requerimientos de la tarea, para no tener que volver a reescribir mi código.



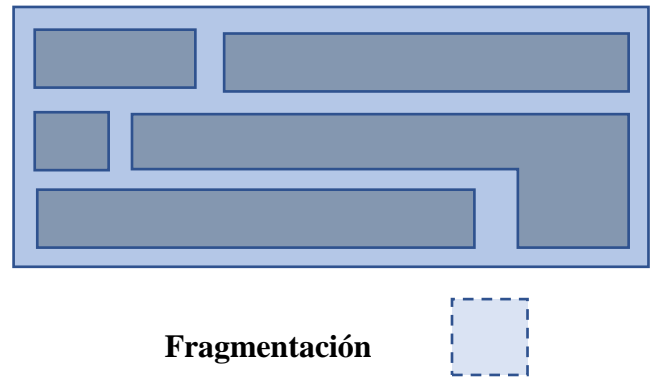
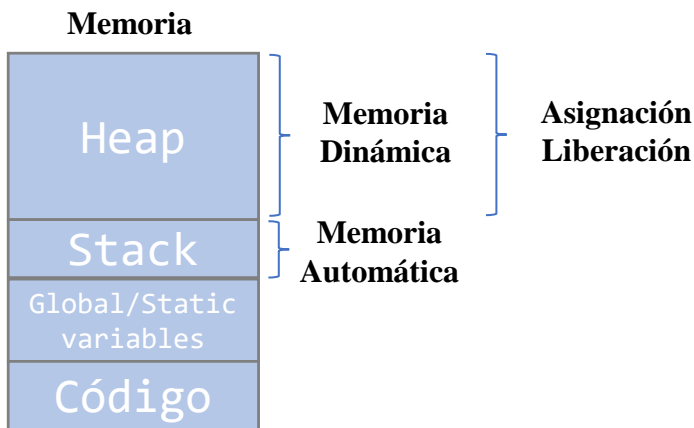
10. ¿Qué conocimientos nuevos adquirió?

Primeramente, el enum, porque no lo conocía, en segunda, esta tarea me ayudo a terminar de entender la aritmética de apuntadores.



## 1.6 Gestión de memoria dinámica

Lunes 29 Agosto 2022



## Asignación

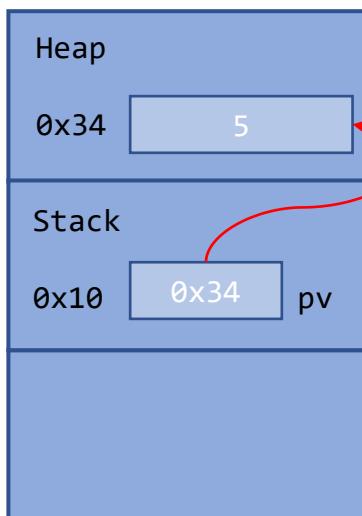
`void *malloc(size_t);`  
 Regresa un apuntador con la dirección del primer elemento del bloque.

Ejemplo:

```
int *pv = (int *)malloc(sizeof(int));
*pv = 5;
printf("%d\n", *pv); //output: 5
```

**size\_t** es un tipo de dato unsigned int. En este caso específico la cantidad de bytes por asignar.

**void \*** regresa un apuntador con la dirección del primer elemento del bloque, y es void para poder usarlo en todo apuntador genérico.



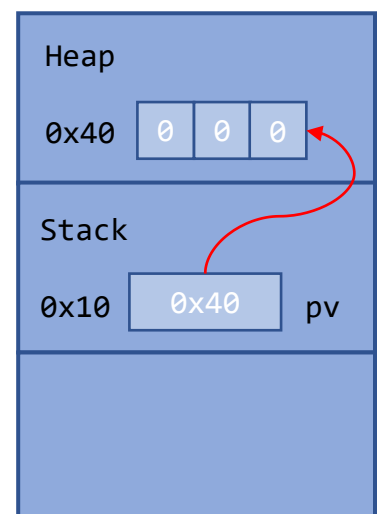
## Liberación

```
void free(void *);
free(pv);
printf("%d\n", *pv); //output: random number
```

`free()` devuelve la memoria al sistema, ya no te pertenece

Para poder utilizar `malloc()` y `free()`, se debe agregar la librería `stdlib.h`

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 int main(){
4     int *pv = (int *)malloc(3*sizeof(int));
5     *pv = 0;
6     *(pv + 1) = 0;
7     *(pv + 2) = 0;
8     free(pv);
9     return 0;
10 }
```



`free(pv);`





¿Cómo enterarnos si la asignación de memoria falla?

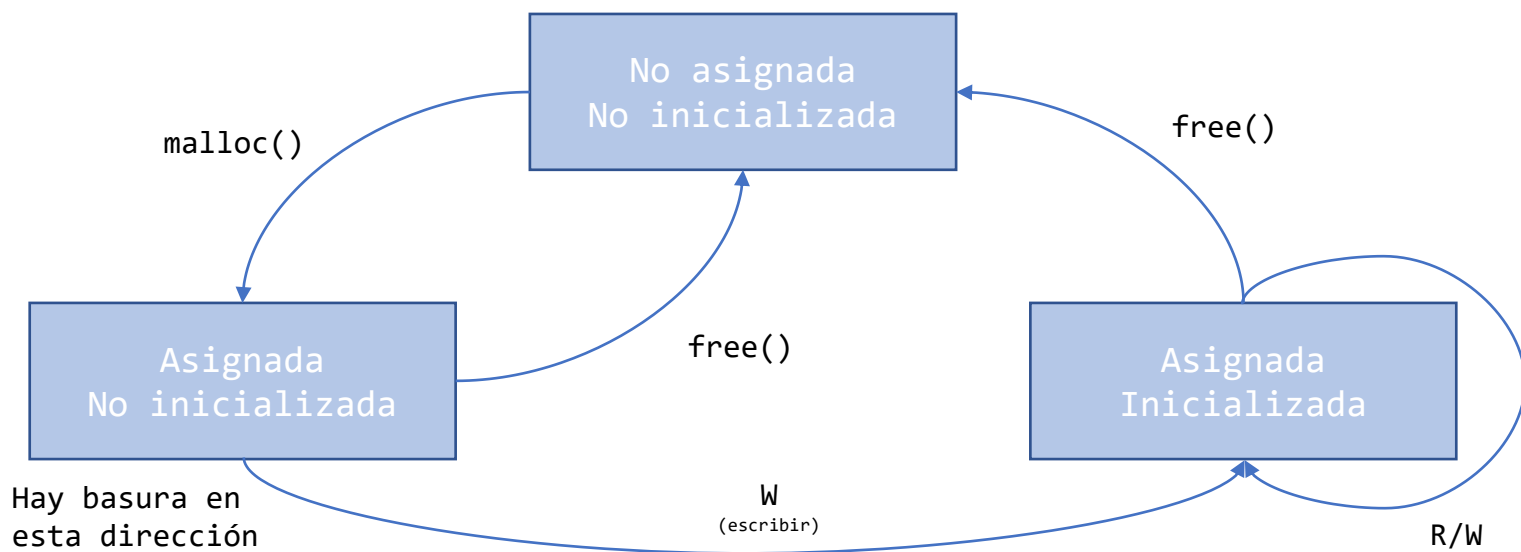
```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int main(){
4      int *pv = NULL;
5      pv = (int *)malloc(sizeof(int));
6      if(pv == NULL){
7          printf("Error: no hay memoria disponible");
8          exit(EXIT_FAILURE);
9      }
10     /*codigo*/
11     return 0;
12 }

```

## 1.7 Estados de memoria dinámica

Martes 30 Agosto 2022



## 1.8 Problemas en el manejo de memoria dinámica

Fragmentación de memoria, fuera de nuestro alcance, no hay un bloque contiguo lo suficientemente grande.

### 1) Fugas de memoria (memory leaks)

```

1  char *bytes;
2  while(1){
3      bytes = (char *)malloc(10);
4  }

```

Un ciclo infinito que en algún punto creará una fuga de memoria porque no hay memoria infinita.



```
1 double *d = NULL;
2 d = (double *)malloc(100);
3 double pi = 3.1416;
4 d = &pi;
5 free(d);
```

Al hacer eso, perdemos la dirección de memoria en donde teníamos guardado los 100 de memoria.

Lo correcto es hacer otro apuntador (en este caso f) en donde guardemos la dirección antes de cambiar el apuntador.

```
1 double *d = NULL;
2 d = (double *)malloc(100);
3 double pi = 3.1416;
4 double *f = d;
5 d = &pi;
6 free(f);
```

Por cada malloc() asigna un free()

## 2) Wild pointers (apuntadores no inicializados)

Apuntadores que no apuntan a nada.

Cada puntero se inicializa con un NULL

```
int *p = NULL;
```

## 3) Dangling pointers (apuntadores a una dirección de memoria que ya fue liberada)

Asignar NULL al apuntador después de free()

```
int *p = NULL;
p = (int *)malloc(sizeof(int));
free(p);
p = NULL;
```



```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int *crea_arreglo(int);
4  int main(){
5      int n;
6      scanf("%d", &n);
7      int *a = crea_arreglo(n);
8      for(int i = 0; i < n; i++){
9          scanf("%d", &a[i]);
10     }
11     for(int j = 0; j < n; j++){
12         printf("%d ", a[j]);
13     }
14     printf("\n");
15     free(a);
16     return 0;
17 }
18
19 int *crea_arreglo(int tam){
20     int *arreglo = NULL;
21     arreglo = (int *)malloc(tam * sizeof(int));
22     if(arreglo == NULL){
23         printf("No hay memoria\n");
24         exit(EXIT_FAILURE);
25         return NULL;
26     }
27     return arreglo;
28 }
```

Las líneas 9 y 12 las podemos cambiar, o bien, cambiar los dos ciclos for, tal como se muestra a continuación y exactamente lo mismo:

```
9      scanf("%d", a + i);
12     printf("%d ", *(a + j));

8      for(int *pi = a; pi < a + n; pi++){
9          scanf("%d", pi);
10     }
11     for(int *pj = a; pj < a + n; pj++){
12         printf("%d\n", *pj);
13     }
```

## 1.10

## Matriz dinámica

Viernes 02 Septiembre 2022

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <assert.h>
4  int main(){
5      int *a[6] = {NULL};
6      for(int i = 0; i < 6; i++){
7          a[i] = (int *)malloc(5 * sizeof(int));
8          assert(a[i] != NULL);
9      }
10     for(int j = 0; j < 6; j++){
11         free(a[j]);
12     }
13     return 0;
14 }

```

También podemos liberar la matriz de esta forma:

```

10     int **p = a;
11     for(int j = 0; j < 6; j++){
12         free(*(p + j));
13     }
14     return 0;
15 }

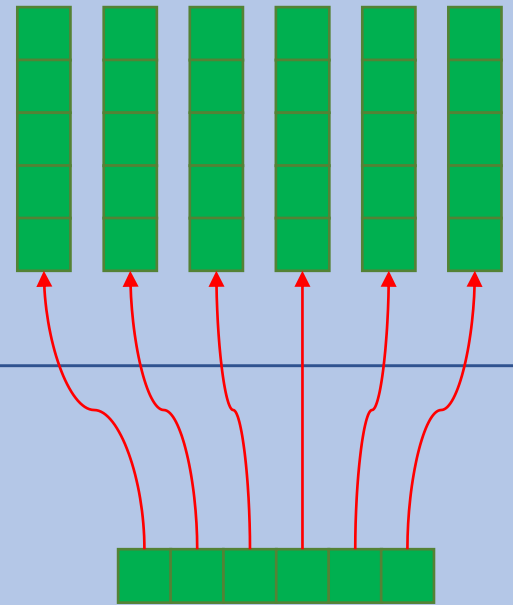
```

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <assert.h>
4  int main(){
5      int **a = NULL;
6      a = (int **)malloc(6 * sizeof(int *));
7      assert(a != NULL);
8      for(int i = 0; i < 6; i++){
9          a[i] = (int *)malloc(5 * sizeof(int));
10         assert(a[i] != NULL);
11     }
12     int **p = a;
13     for(int j = 0; j < 6; j++){
14         free(*(p + j));
15     }
16     free(a);
17     return 0;
18 }

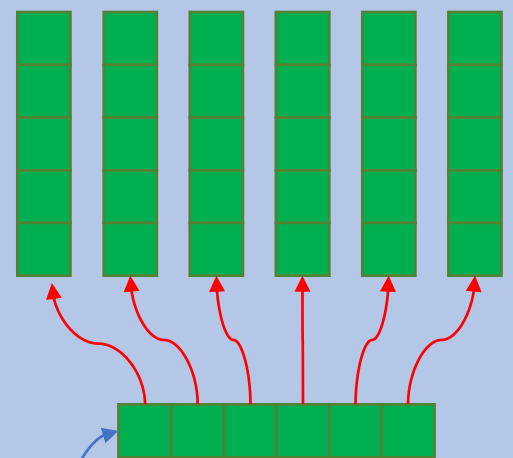
```

## Heap



## Stack

## Heap



## Stack

a



## Implementación de una matriz dinámica con funciones

```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <assert.h>
4  int **crea_matriz(int, int);
5  void llenar_matriz(int **, int, int);
6  void imprimir_matriz(int **, int, int);
7  void liberar_matriz(int **);
8  int main(){
9      int r, c;
10     scanf("%d", &r);
11     scanf("%d", &c);
12     int **a = crea_matriz(r, c);
13     llenar_matriz(a, r, c);
14     imprimir_matriz(a, r, c);
15     liberar_matriz(a);
16     return 0;
17 }
18
19 int **crea_matriz(int r, int c){
20     int **a = NULL;
21     a = (int **)malloc(c * sizeof(int *));
22     assert(a != NULL);
23     for(int i = 0; i < c; i++){
24         a[i] = (int *)malloc(r * sizeof(int));
25         assert(a[i] != NULL);
26     }
27     return a;
28 }
29
30 void llenar_matriz(int **matriz, int r, int c){
31     int **a = matriz;
32     for(int i = 0; i < c; i++){
33         for(int j = 0; j < r; j++){
34             scanf("%d", &a[i][j]);
35         }
36     }
37 }
38
39 void imprimir_matriz(int **matriz, int r, int c){
40     int **a = matriz;
41     for(int i = 0; i < c; i++){
42         for(int j = 0; j < r; j++){
43             printf("%d ", a[i][j]);
44         }
45         printf("\n");
46     }
47 }
48
49 void liberar_matriz(int **matriz){
50     int **p = matriz;
51     for(int j = 0; j < 6; j++){
52         free(*(p + j));
53     }
54     free(matriz);
55 }
```



## Tarea #2: Arreglos Dinámicos

## Minesweeper

If you need help running the tests or submitting your code, check out [HELP.md](#).

## Instructions

Add the mine counts to a completed Minesweeper board.

Minesweeper is a popular game where the user has to find the mines using numeric hints that indicate how many mines are directly adjacent (horizontally, vertically, diagonally) to a square.

In this exercise you have to create some code that counts the number of mines adjacent to a given empty square and replaces that square with the count.

The board is a rectangle composed of blank space (' ') characters. A mine is represented by an asterisk ('\\*') character.

If a given space has no adjacent mines at all, leave that square blank.

## Examples

For example you may receive a 5 x 4 board like this (empty spaces are represented here with the '.' character for display on screen):

```
.*.*.
..*..
..*..
.....
```

And your code will transform it into this:

```
1*3*1
13*31
.2*2.
.111.
```



## minesweeper.h

```
#ifndef MINESWEEPER_H
#define MINESWEEPER_H
#include <stddef.h>

char **annotate(const char **minefield, const size_t rows);
void free_annotation(char **annotation, const size_t rows);

#endif
```



## test\_minesweeper.c

```
#include "test-framework/unity.h"
#include "minesweeper.h"
#include <stdlib.h>
#define ARRAY_SIZE(arr) (sizeof(arr) / sizeof(arr[0]))
void setUp(void){
}

void tearDown(void){
}

static void test_annotate_no_rows(void){
    TEST_IGNORE(); // delete this line to run test
    const char **minefield = NULL;
    const size_t rows = 0;
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_NULL(actual);
}

static void test_annotate_no_columns(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = { "" };
    const char *expected[] = { "" };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_no_mines(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        " ",
        " ",
        " "
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        " ",
        " ",
        " "
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}
```





```
static void test_annotate_minefield_with_only_mines(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        "***",
        "***",
        "***"
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        "***",
        "***",
        "***"
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_mine_surrounded_by_spaces(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        "  ",
        " * ",
        "  "
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        "111",
        "1*1",
        "111"
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_space_surrounded_by_mines(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        "***",
        "* *",
        "***"
        // clang-format on
    };
};
```



```

const char *expected[] = {
    // clang-format off
    "***",
    "*8*",
    "***"
    // clang-format on
};
const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
char **actual = annotate(minefield, rows);
TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_horizontal_line(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        " * * "
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        "1*2*1"
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_horizontal_line_mines_at_edges(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        "*      *"
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        "*1 1*"
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_vertical_line(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        " ",
        "*",
        " ",
        "*",
        " "
        // clang-format on
    };
};

```



```

const char *expected[] = {
    // clang-format off
    "1",
    "*",
    "2",
    "*",
    "1"
    // clang-format on
};
const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
char **actual = annotate(minefield, rows);
TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_vertical_line_mines_at_edges(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        "*",
        " ",
        " ",
        " ",
        "*"
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        "*",
        "1",
        " ",
        "1",
        "*"
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

static void test_annotate_cross(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        " * ",
        " * ",
        "*****",
        " * ",
        " * "
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        " 2*2 ",
        "25*52",
        "*****",
        "25*52",
        " 2*2 "
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

```



```
static void test_annotate_large_minefield(void){
    TEST_IGNORE();
    const char *minefield[] = {
        // clang-format off
        " * * ",
        " *  ",
        "  * ",
        " * * ",
        " * * ",
        " "
        // clang-format on
    };
    const char *expected[] = {
        // clang-format off
        "1*22*1",
        "12*322",
        " 123*2",
        "112*4*",
        "1*22*2",
        "111111"
        // clang-format on
    };
    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
    char **actual = annotate(minefield, rows);
    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
    free_annotation(actual, rows);
}

int main(void){
    UnityBegin("test_minesweeper.c");
    RUN_TEST(test_annotate_no_rows);
    RUN_TEST(test_annotate_no_columns);
    RUN_TEST(test_annotate_no_mines);
    RUN_TEST(test_annotate_minefield_with_only_mines);
    RUN_TEST(test_annotate_mine_surrounded_by_spaces);
    RUN_TEST(test_annotate_space_surrounded_by_mines);
    RUN_TEST(test_annotate_horizontal_line);
    RUN_TEST(test_annotate_horizontal_line_mines_at_edges);
    RUN_TEST(test_annotate_vertical_line);
    RUN_TEST(test_annotate_vertical_line_mines_at_edges);
    RUN_TEST(test_annotate_cross);
    RUN_TEST(test_annotate_large_minefield);
    return UnityEnd();
}
```



## minesweeper.c

```
1 #include "minesweeper.h"
2 #include <string.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include <assert.h>
5
6 char **annotate(const char **minefield, const size_t rows){
7     //Caso base cuando no existe la matriz
8     if(minefield == NULL){
9         return NULL;
10    }
11    int c = strlen(minefield[0]);
12    int cont = 0;
13    int r = rows;
14    //Crear la matriz
15    char **a = NULL;
16    a = (char **)malloc(r * sizeof(char *));
17    assert(a != NULL);
18    for(int i = 0; i < r; i++){
19        a[i] = (char *)malloc((c + 1) * sizeof(char));
20        assert(a[i] != NULL);
21    }
22    //Copiando la matriz para ya tener asteriscos y espacios
23    for(int i = 0; i < r; i++){
24        for(int j = 0; j < c + 1; j++){
25            if(j != c){
26                a[i][j] = minefield[i][j];
27            }
28            else{
29                a[i][j] = '\\0';
30            }
31        }
32    }
33    //Caso general para todas las matrices
34    for(int i = 0; i < r; i++){
35        for(int j = 0; j < c; j++){
36            //Si no es un asterisco
37            if(a[i][j] != '*'){
38                //Fijamos los limites para revisar
39                int r_begin, r_end, c_begin, c_end;
40                //Si estamos al principio de un renglon
41                if(i == 0){
42                    r_begin = 0;
43                }
44                else{
45                    r_begin = i - 1;
46                }
47                //Si estamos al final de un renglon
48                if(i == r - 1){
49                    r_end = r - 1;
50                }
51            }
52        }
53    }
54 }
```



```
51         else{
52             r_end = i + 1;
53         }
54         //Si estamos en la primer columna
55         if(j == 0){
56             c_begin = 0;
57         }
58         else{
59             c_begin = j - 1;
60         }
61         //Si estamos en la ultima columna
62         if(j == c - 1){
63             c_end = c - 1;
64         }
65         else{
66             c_end = j + 1;
67         }
68         //Revisamos si los de alrededor son asteriscos
69         for(int k = r_begin; k < r_end + 1; k++){
70             for(int l = c_begin; l <= c_end; l++){
71                 if(a[k][l] == '*'){
72                     cont++;
73                 }
74             }
75         }
76         //Si hay por lo menos un asterisco cerca
77         if(cont != 0){
78             a[i][j] = cont + '0';
79             cont = 0;
80         }
81     }
82 }
83 }
84 return a;
85 }
86
87 void free_annotation(char **annotation, const size_t rows){
88     char **p = annotation;
89     int r = rows;
90     for(int i = 0; i < r; i++){
91         free(*(p + i));
92     }
93     free(annotation);
94 }
```



## 1. Explica tus algoritmos para crear y liberar la memoria dinámica utilizada.

```

14 //Crear la matriz
15 char **a = NULL;
16 a = (char **)malloc(r * sizeof(char *));
17 assert(a != NULL);
18 for(int i = 0; i < r; i++){
19     a[i] = (char *)malloc((c + 1) * sizeof(char));
20     assert(a[i] != NULL);
21 }

87 void free_annotation(char **annotation, const size_t rows){
88     char **p = annotation;
89     int r = rows;
90     for(int i = 0; i < r; i++){
91         free(*(p + i));
92     }
93     free(annotation);
94 }

```

Para la creación de la memoria dinámica (líneas de la 14 a la 21), y la liberación de memoria (líneas de la 87 a la 94) utilicé el código aprendido el viernes 02 de septiembre, en donde primero es crear un apuntador que apunta a otro apuntador, primero, ya sabemos cuantos renglones hay, entonces creo un arreglo dinámico de apuntadores del mismo tamaño de los renglones, luego cada casilla de memoria (cada uno de los renglones), apunta a otra cadena de memoria del tamaño de cada renglón + 1 (el más uno es para poder el final de cadena ‘\0’) el tamaño de cada renglón lo obtuve en la línea 11 con la función `strlen()`. Así mismo, aplico el `assert()` para comprobar que hay memoria suficiente.

Para la liberación de la memoria, también aplico el código visto en clase el día 02, al liberar primero cada uno de los renglones, y posteriormente liberar la matriz de renglones.



## 2. Explica tu algoritmo para determinar cuántas minas hay alrededor de cada celda.

```

34 for(int i = 0; i < r; i++){
35     for(int j = 0; j < c; j++){
36         //Si no es un asterisco
37         if(a[i][j] != '*'){
38             //Fijamos los limites para revisar
39             int r_begin, r_end, c_begin, c_end;
40             //Si estamos al principio de un renglon
41             if(i == 0){
42                 r_begin = 0;
43             }
44             else{
45                 r_begin = i - 1;
46             }
47             //Si estamos al final de un renglon
48             if(i == r - 1){
49                 r_end = r - 1;

```



```
50     }
51     else{
52         r_end = i + 1;
53     }
54     //Si estamos en la primer columna
55     if(j == 0){
56         c_begin = 0;
57     }
58     else{
59         c_begin = j - 1;
60     }
61     //Si estamos en la ultima columna
62     if(j == c - 1){
63         c_end = c - 1;
64     }
65     else{
66         c_end = j + 1;
67     }
68     //Revisamos si los de alrededor son asteriscos
69     for(int k = r_begin; k < r_end + 1; k++){
70         for(int l = c_begin; l <= c_end; l++){
71             if(a[k][l] == '*'){
72                 cont++;
73             }
74         }
75     }
76     //Si hay por lo menos un asterisco cerca
77     if(cont != 0){
78         a[i][j] = cont + '0';
79         cont = 0;
80     }
81 }
82 }
83 }
```

Primero hago dos ciclos for para hacer el recorrido por toda la matriz y compruebo que estoy en una casilla en blanco, al llegar a una, hago varios condicionales para saber si estoy en alguna de las orillas de la matriz o no, para saber que de donde a donde debo checar, y de este modo, no acceder a memoria que no me pertenece.

Luego de fijar los limites a revisar, hago otros dos ciclos for para revisar todas las casillas de alrededor en busca de asteriscos, en caso de encontrar una, aumento en uno mi contador de minas, y al final pongo ese numero en forma de char, y reinicio mi contador de bombas para la siguiente casilla en blanco.





3. ¿Qué es apuntador constante (const) en el lenguaje C? ¿En cuáles situaciones se recomienda utilizarlo?

Es cuando el valor al que apunta el apuntador va a ser constante

```
const int *p; // El contenido apunta al puntero es constante
int const *P; // El contenido apunta al puntero es constante.
int * const page; // puntero es constante
const int * const p; // El contenido apunta al puntero y el puntero es constante.
```

Se recomienda utilizarlo cuando solo vamos a leer los datos y no a modificarlos.



4. ¿Cuál es el nombre de la prueba (test) que te resultó más difícil pasar? ¿Por qué consideras que fue difícil?

Ninguna.



5. ¿Hubo alguna prueba (test) que no se pudo pasar? ¿Cuál fue? ¿Qué errores obtuviste?

No.



6. Inventa una nueva prueba y agrégala al conjunto de pruebas del proyecto. Agrega el código fuente y explicación de tu prueba en el reporte.

```
1 static void test_esquinas(void){
2     //TEST_IGNORE();
3     const char *minefield[] = {
4         // clang-format off
5         "* *",
6         "  ",
7         "* *"
8         // clang-format on
9     };
10    const char *expected[] = {
11        // clang-format off
12        "*2*",
13        "242",
14        "*2*"
15        // clang-format on
16    };
17    const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
18    char **actual = annotate(minefield, rows);
19    TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
20    free_annotation(actual, rows);
21 }
22
```



```

23 static void test_one_void(void){
24     //TEST_IGNORE();
25     const char *minefield[] = { " " };
26     const char *expected[] = { " " };
27     const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
28     char **actual = annotate(minefield, rows);
29     TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
30     free_annotation(actual, rows);
31 }
32
33 static void test_one_bomb(void){
34     //TEST_IGNORE();
35     const char *minefield[] = { "*" };
36     const char *expected[] = { "*" };
37     const size_t rows = ARRAY_SIZE(expected);
38     char **actual = annotate(minefield, rows);
39     TEST_ASSERT_EQUAL_STRING_ARRAY(expected, actual, rows);
40     free_annotation(actual, rows);
41 }

```

Agregué 3 pruebas, la primera es cuando únicamente las esquinas tienen bombas, la segunda cuando solo hay una casilla en blanco, y la tercera cuando solo hay una bomba.



7. ¿Aplicaste la refactorización en tu código? Explica de qué manera lo hiciste

```

38         //Fijamos los limites para revisar
39         int r_begin = (i == 0) ? 0: i - 1;
40         int r_end = (i == r - 1) ? r - 1 : i + 1;
41         int c_begin = (j == 0) ? 0: j - 1;
42         int c_end = (j == c - 1) ? c - 1 : j + 1;

```

Para no ocupar tantas líneas en los if else para fijar los limites, lo cambie por esa otra estructura.



8. ¿Qué hiciste particularmente bien en esta tarea?

Aplicar los conocimientos de los arreglos dinámicos para la creación y liberación de memoria.



9. ¿Qué pudiste haber hecho mejor en esta tarea?

Honestamente, no lo sé.



10. ¿Qué nuevos conocimientos y experiencias adquiriste con esta tarea?

A utilizar el ? y los : en vez de if y else.



## 1.11

## Apuntadores por “referencia”

Lunes 05 Septiembre 2022

```

1  int *crea_arreglo(int tam){
2      int *arreglo = (int *)malloc(tam * sizeof(int));
3      assert(arreglo != NULL);
4      return arreglo;
5  }
6

```

V1

```

1  void *crea_arreglo(int **arreglo, int tam){
2      *arreglo = (int *)malloc(tam * sizeof(int));
3      assert(*arreglo != NULL);
4  }

```

V2

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <assert.h>
4  void *crea_arreglo(int **, int);
5  int main(){
6      int **arreglo = NULL;
7      crea_arreglo(&arreglo, 10);
8      for(int i = 0; i < 10; i++){
9          printf("&d", *(arreglo + 1));
10     }
11     free(arreglo);
12     return 0;
13 }
14
15 void *crea_arreglo(int **arreglo, int tam){
16     *arreglo = (int *)malloc(tam * sizeof(int));
17     assert(*arreglo != NULL);
18 }

```

Heap



Stack

a

## 1.12

## realloc

Martes 06 Septiembre 2022

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  int main(){
4      int *p = (int *)malloc(4 * sizeof(int));
5      p = (int *)realloc(p, 6 * sizeof(int));
6      p = (int *)realloc(p, 2 * sizeof(int));
7      free(p);
8      return 0;
9  }

```

La función realloc es para cambiar el tamaño de la memoria almacenada.



## 1.13

## Pila dinámica

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <assert.h>
4  typedef struct{
5      int *arreglo;
6      int tope;
7      int max;
8  }pila_dinamica;
9
10 void inicializa_pila(pila_dinamica *);
11 void push(pila_dinamica *, int);
12 void pop(pila_dinamica *);
13 void imprimir_pila(pila_dinamica *);
14
15 int main(){
16     pila_dinamica pila;
17     inicializa_pila(&pila);
18     push(&pila, 2);
19     push(&pila, 34);
20     push(&pila, 146);
21     imprimir_pila(&pila);
22     pop(&pila);
23     push(&pila, 2);
24     imprimir_pila(&pila);
25     free(pila.arreglo);
26     return 0;
27 }
28
29 void inicializa_pila(pila_dinamica *p){
30     p->arreglo = NULL;
31     p->tope = p->max = 0;
32 }
33
34 void push(pila_dinamica *p, int dato){
35     if(p->tope == p->max){
36         p->max = p->max == 0 ? 1 : p->max * 2;
37         int *q = (int *)realloc(p->arreglo, p->max * sizeof(int));
38         assert(q != NULL);
39         p->arreglo = q;
40     }
41     p->arreglo[p->tope++] = dato;
42 }
43
44 void pop(pila_dinamica *p){
45     if(p->tope > 0){
46         int *q = (int *)realloc(p->arreglo, (p->tope - 1) * sizeof(int));
47         assert(q != NULL);
48         p->arreglo = q;
49         p->tope--;
50     }
51 }
52
53 void imprimir_pila(pila_dinamica *p){
54     if(p->tope != 0){
55         for(int i = 0; i < p->tope; i++){
56             printf("%d ", p->arreglo[i]);
57         }
58         printf("\n");
59     }
60     else{
61         printf("La pila esta vacia\n");
62     }
63 }

```



```
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <assert.h>
4  #include <string.h>
5
6  typedef struct{
7      char nombre[50];
8      int edad;
9  }persona_t;
10
11 typedef struct{
12     char *nombre;
13     int edad;
14 }dpersona_t;
15
16 int main(){
17     persona_t persona;
18     printf("Nombre: ");
19     scanf("%[^\n]", persona.nombre);
20     printf("Edad: ");
21     scanf("%d", &persona.edad);
22     persona_t persona2 = persona;
23     printf("Nombre: %s\n", persona2.nombre);
24     printf("Edad: %d\n", persona2.edad);
25     dpersona_t persona_d;
26     char nombre[50];
27     char espacio;
28     scanf("%c", &espacio);
29     scanf("%[^\n]", nombre);
30     persona_d.nombre = (char *)malloc(strlen(nombre) + 1);
31     strcpy(persona_d.nombre, nombre);
32     printf("Nombre dinamico: %s\n", persona_d.nombre);
33     persona_t personas[10];
34     dpersona_t *personas_d = NULL;
35     personas_d = (dpersona_t *)malloc(10 * sizeof(dpersona_t));
36     return 0;
37 }
```



## 1.15

## Apuntadores genéricos

Viernes 09 Septiembre 2022

**void \* = apuntador genérico porque puede apuntar a cualquier cosa**

**No se puede usar indirección sobre void \* (se debe hacer cast)**

```

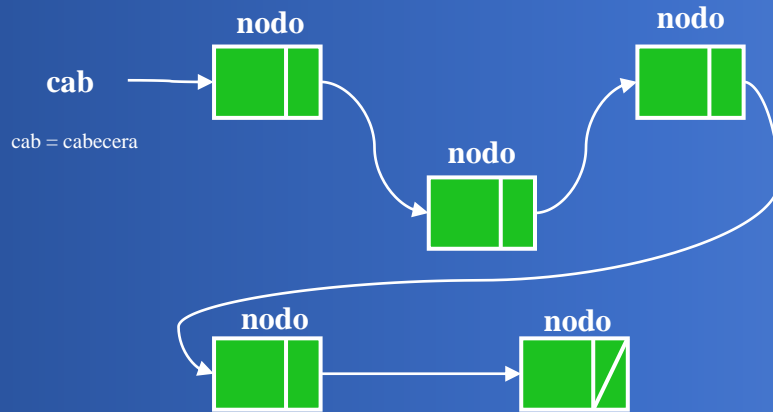
1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <assert.h>
4  #include <string.h>
5
6  typedef struct{
7      char nombre[50];
8      int edad;
9  }persona_t;
10
11 int main(){
12     int a = 100;
13     float b = 3.1416;
14     persona_t c;
15     strcpy(c.nombre, "Hugo Esparza");
16     c.edad = 26;
17     void *p = NULL;
18     p = &a;
19     printf("%d\n", *(int *)p);
20     p = &b;
21     printf("%f\n", *(float *)p);
22     p = &c;
23     printf("%s\n", ((persona_t *)p)->nombre);
24     return 0;
25 }
```

**p->nombre ⇒ ((persona\_t \*)p)->nombre    (\*p).nombre ⇒ (\*(persona\_t \*)p).nombre**

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3
4  int main(){
5      void *p;
6      p = malloc(10);
7      printf("Dame el valor del entero: ");
8      scanf("%d", (int *)p);
9      printf("El entero es: %d\n", *(int *)p);
10     printf("Dame el valor del flotante: ");
11     scanf("%f", (float *)p);
12     printf("El entero es: %f\n", *(float *)p);
13     return 0;
14 }
```

# 2. LISTAS ENLAZADAS



## 2.1 Listas simples

**Objetivo:** Ser capaz de diseñar diversos tipos de listas enlazadas y programar las principales operaciones para su manipulación.

En una lista podemos guardar cualquier cosa, para este ejemplo de lista simple, haremos una lista de números enteros, cada casilla es un nodo, y para cada nodo hacemos una estructura con los datos que almacenara cada nodo.

### 2.1.1 Definir la estructura del nodo

#### Struct nodo

info

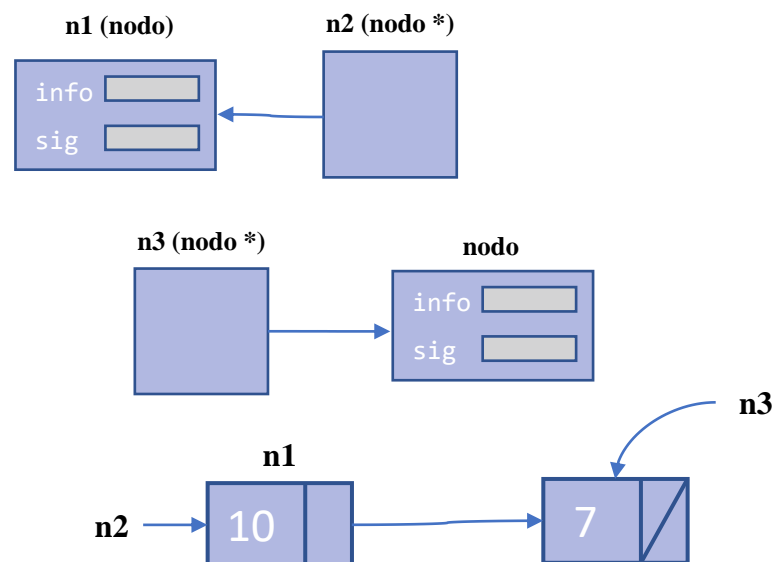
sig

```
1 struct nodo{
2     int info;
3     struct nodo *sig;
4 };
5 typedef struct nodo nodo_t;
```

```
1 int main(){
2     nodo_t n1;
3     nodo_t *n2, *n3;
4     n1.info = 5;
5     n1.sig = NULL;
6     n2 = &n1;
7     n2->info = 10;
8     printf("%d", n1.info);
9     n3 = (nodo_t *)malloc(sizeof(nodo_t));
10    assert(n3 != NULL);
11    n3->info = 7;
12    n3->sig = NULL;
13    n2->sig = n3;
14    return 0;
15 }
```

#### Output

10





## 2.1.2 Función para crear un nodo

```

1  nodo_t *crea_nodo(){
2      nodo_t *nodo = NULL;
3      nodo = (nodo_t*)malloc(sizeof(nodo_t));
4      if(nodo == NULL){
5          printf("Error: no hay memoria suficiente");
6          exit(EXIT_FAILURE);
7      }
8      nodo->info = 0;
9      nodo->sig = NULL;
10     return nodo;
11 }

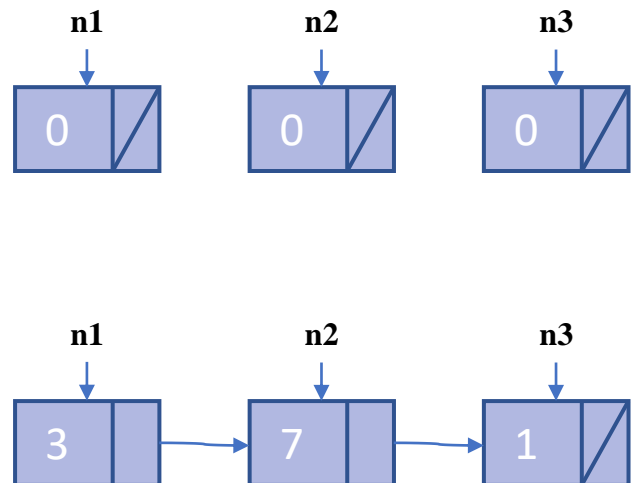
```

### Ejemplo Burdo

```

1  int main(){
2      nodo_t *n1 = crea_nodo();
3      nodo_t *n2 = crea_nodo();
4      nodo_t *n3 = crea_nodo();
5      n1->info = 3;
6      n2->info = 7;
7      n3->info = 1;
8      n1->sig = n2;
9      n2->sig = n3;
10     printf("%d ", n1->info);
11     printf("%d ", n1->sig->info);
12     printf("%d", n1->sig->sig->info);
13     free(n1);
14     free(n2);
15     free(n3);
16     return 0;
17 }

```



### Output

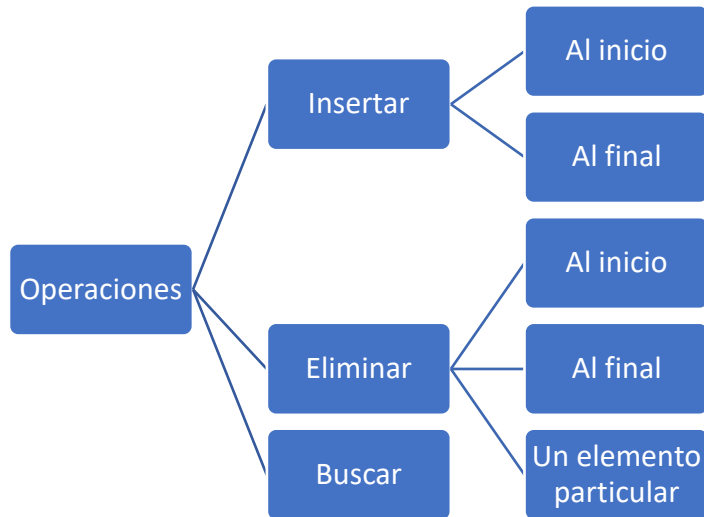
3 7 1





## 2.1.3

## Operaciones en listas enlazadas

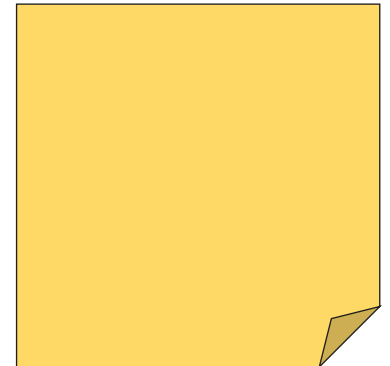


## 2.1.3

## Creando un menú de opciones

```

1  int main(){
2      nodo_t *lista = NULL;
3      int opcion = 0, num = 0;
4      do{
5          opcion = selecciona_opcion();
6          switch(opcion){
7              case 1: printf("Valor del numero: ");
8                      scanf("%d", &num);
9                      insertar_inicio(&lista, num);
10                     break;
11             case 2: printf("Valor del numero: ");
12                     scanf("%d", &num);
13                     insertar_final(&lista, num);
14                     break;
15             case 3: eliminar_inicio(&lista);
16                     break;
17             case 4: eliminar_final(&lista);
18                     break;
19             case 5: imprimir_lista(lista);
20                     break;
21             case 6: printf("Valor del numero: ");
22                     scanf("%d", &num);
23                     elimina_nodo(&lista, num);
24                     break;
25             case 7: liberar_lista(&lista);
26                     break;
27             case 8: printf("Valor del numero: ");
28                     scanf("%d", &num);
29                     printf("%p\n", buscar_dato(lista, num));
30                     break;
31             default: puts("Opcion no valida");
32                     break;
33         }
34     }while(opcion != 0);
35     return 0;
36 }
  
```





## 2.1.5

## Función “int selecciona\_opción();”

```

1  int selecciona_opcion(){
2      puts("Selecciona una opcion");
3      puts("0. Salir");
4      puts("1. Insertar inicio");
5      puts("2. Insertar al final");
6      puts("3. Eliminar al inicio");
7      puts("4. Eliminar al final");
8      puts("5. Imprimir toda la lista");
9      puts("6. Eliminar nodo arbitrario");
10     puts("7. Eliminar/Liberar toda la lista");
11     puts("8. Buscar dato");
12     int opcion;
13     scanf("%d", &opcion);
14     return opcion;
15 }

```

puts funciona como printf, pero es para imprimir en pantalla puro texto, y ya imprime el salto de línea sin necesidad de ponerlo.

## 2.1.5

## Función “void insertar\_inicio(nodo\_t \*\*, int);”

```

1  void insertar_inicio(nodo_t **cab, int dato){
2      nodo_t *nodo = crea_nodo();
3      nodo->info = dato;
4      nodo->sig = *cab;
5      *cab = nodo;
6  }

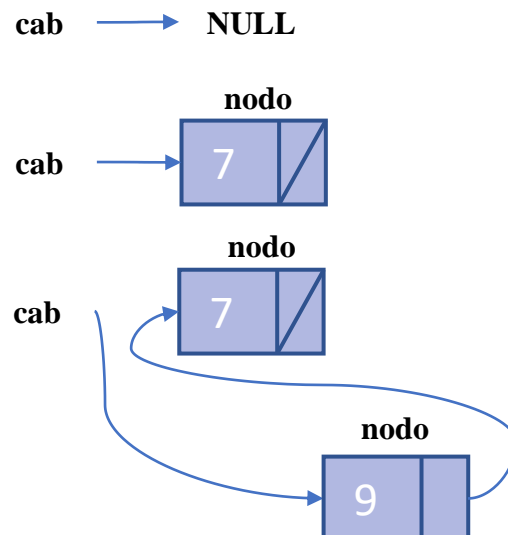
```

## Ejemplo:

```

1  int main(){
2      nodo_t *lista = NULL;
3      insertar_inicio(&lista, 7);
4      insertar_inicio(&lista, 9);
5      return 0;
6  }

```



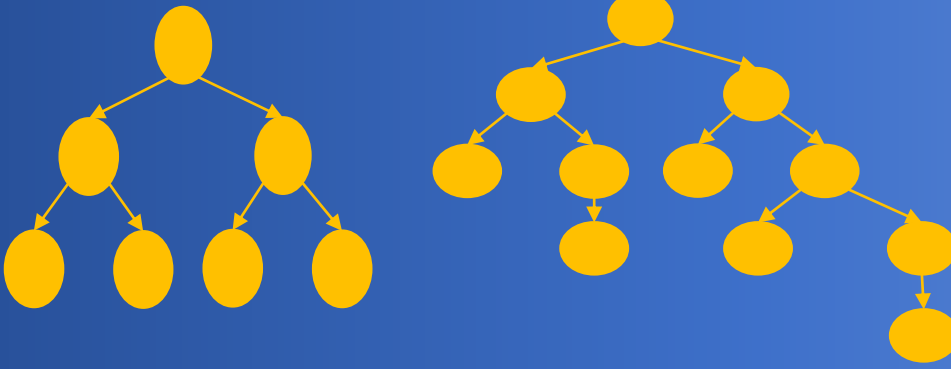




# 3. GRAFOS



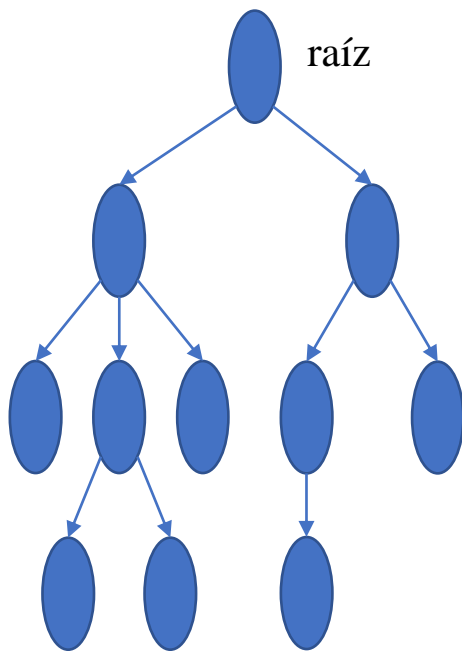
# 4. ÁRBOLES BINARIOS



## 4.1 Conceptos básicos de árboles

**Objetivo:** Diseñar y programar las estructuras y las operaciones básicas para la manipulación de grafos.

Lunes 07 Noviembre 2022

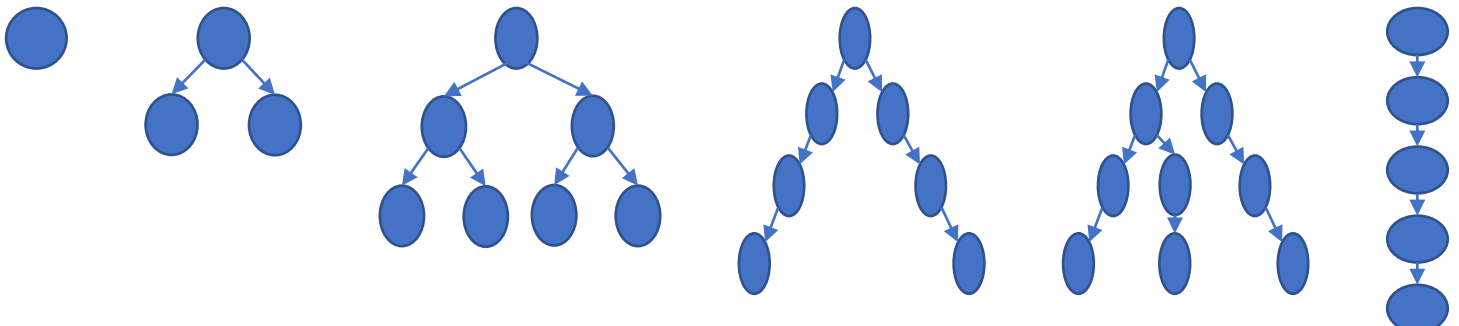


Terminología	
Raíz	Nodo principal, cabecera.
Hijos	Nodos izquierdo y derecho de un nodo.
Padre	Nodo con hijos.
Hermanos	Nodos que tienen el mismo padre.
Antecesor y descendiente	Si podemos ir desde el nodo A hacia el nodo B, entonces A es un antecesor de B, y B es un descendiente de A.
Hoja	Nodos sin hijos.
Nodo interno	Nodos que no son hojas.
Camino	Secuencia de aristas desde un nodo antecesor hasta un nodo descendiente.

## Definiciones y aplicaciones

Un **árbol binario** es un árbol en el cual cada nodo puede tener a lo máximo 2 hijos.

**Ejemplos:**





### Aplicaciones de los árboles:

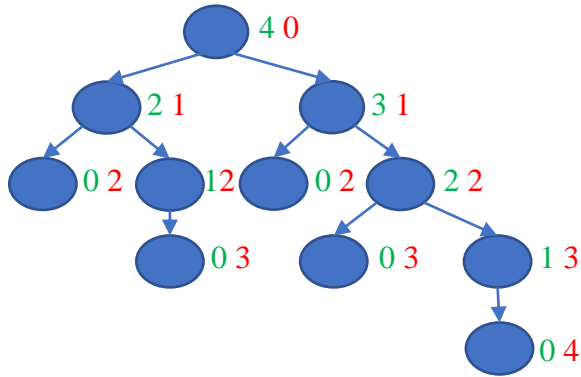
- Información con estructura jerárquica.
- Navegación web y redes.
- Bases de datos (árboles B y B+).
- Son la base para las estructuras eficientes como los conjuntos (sets).

### Árbol binario completo

Todos los niveles excepto posiblemente el último están llenos y todos los nodos están lo más posible a la izquierda.

### Altura de un nodo

Martes 08 Noviembre 2022



#### Altura de un nodo x

Es el número de aristas en el camino más largo desde x hasta una hoja. Las hojas tienen altura cero.

La altura de un árbol es la altura de la raíz (en este caso es 4).

#### La profundidad de un nodo x

Es la longitud del camino desde la raíz hasta el nodo x (cantidad de aristas). La profundidad de la raíz es cero.

Los nodos que tienen la misma profundidad están en un mismo nivel. En un árbol binario perfecto, todos los niveles están completamente llenos.

El número máximo de nodos en el nivel  $i$  es  $2^i$ . Un árbol perfecto de altura  $h$  tiene exactamente  $2^{h+1} - 1$  nodos.

¿Cuál es la altura de un árbol binario perfecto que tiene N nodos?

$$2^{h+1} - 1 = N \Rightarrow 2^{h+1} = N + 1$$

$$\log a^b = b \log a$$

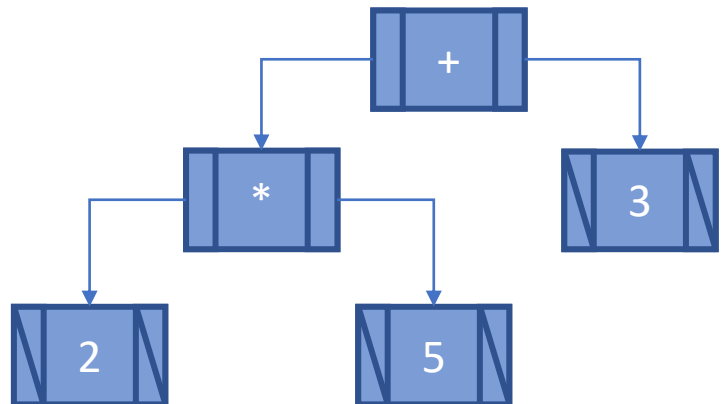
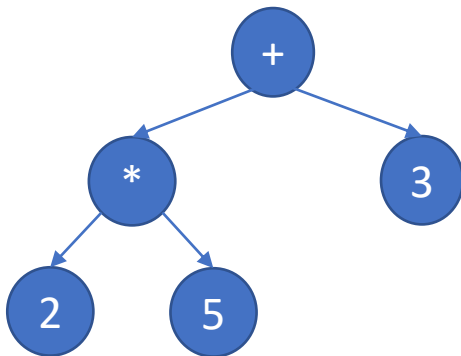
$$\log_x x = 1$$

$$\log_2(2^{h+1}) = \log_2(N + 1) \Rightarrow (h + 1) \log_2 2 = \log_2(N + 1) \Rightarrow h = \log_2(N + 1) - 1$$

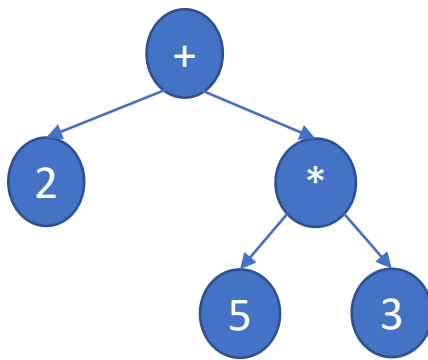
## 4.2

### Árboles binarios de expresiones

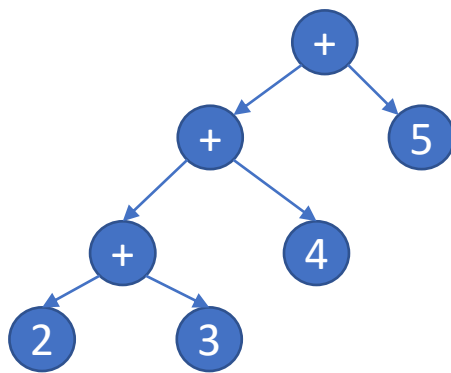
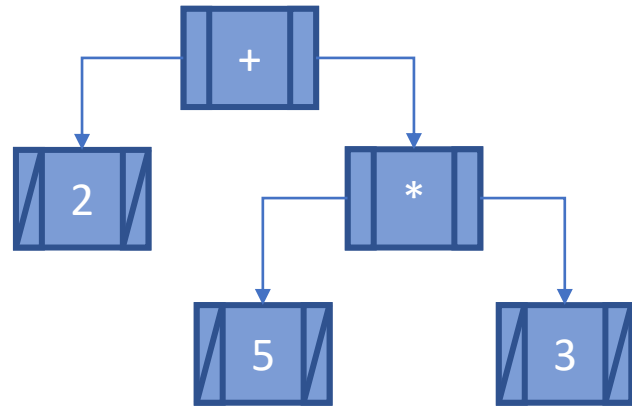
Jueves 10 Noviembre 2022



$$2 * 5 + 3 \Rightarrow 13$$

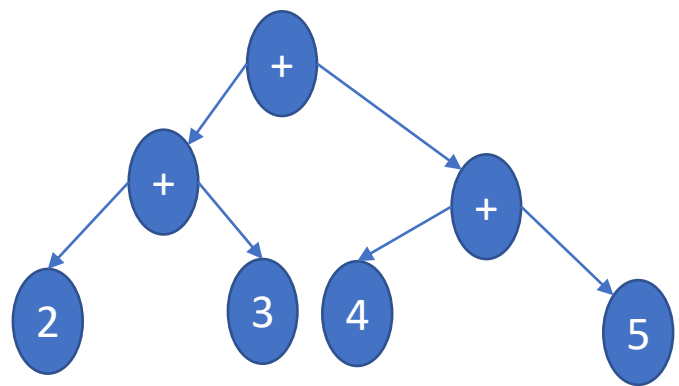


$$2 * (5 + 3) \Rightarrow 16$$



$$2 + 3 + 4 + 5 \Rightarrow 14$$

**≠**



$$(2 + 3) + (4 + 5) \Rightarrow 14$$

Aunque para nosotros sea la misma operación matemática, son dos árboles completamente diferentes por los paréntesis.

### 4.2.1 Definir la estructura del nodo

```
1 struct nodo{
2     int info;
3     struct nodo *izq;
4     struct nodo *der;
5 };
6 typedef struct nodo nodo_t;
```



# 5. ÁRBOLES MULTICAMINOS





