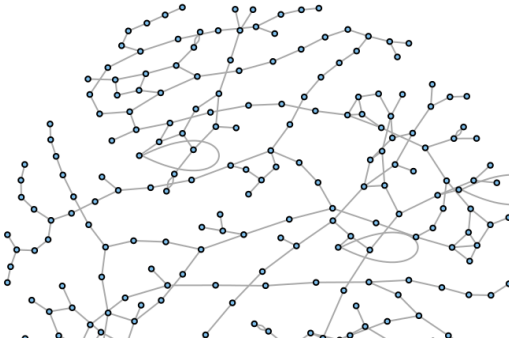


Optimiza!ción

Práctica 3: la clase GRAFO.

Profesor responsable:

Tutorización: semana del 11 de marzo y semana del 18 de marzo

Corrección: semana del 1 de abril

1. Objetivo

El objetivo de esta práctica es escribir una librería en c++ que defina una estructura de datos para almacenar grafos, una serie de métodos para su carga a partir de sus sucesores o predecesores, en el caso de los grafos dirigidos, y con las adyacencias, en el caso de los grafos no dirigidos, además de implementar algunos procedimientos que pongan a prueba la clase grafo creada. Es decir, crearemos la clase `GRAFO` que, desde esta primera práctica, estará dotada de lo esencial para poder codificar los grafos y trabajar con ellos en la resolución de distintos problemas de optimización combinatoria con la implementación de diversos algoritmos. En esta primera práctica, añadiremos distintas implementaciones sencillas de recorridos para poner a prueba la programación de la clase. Para la gestión de la clase `GRAFO`, usaremos un sencillo programa principal que, en forma de menú, irá incorporando las utilidades que añadamos a la clase `GRAFO`.

2. Plan de trabajo

Esta práctica se divide en dos fases. En la inicial, se centrará en escribir y comprobar el buen funcionamiento del constructor y del actualizador de la clase GRAFO, leyendo la información desde fichero de distintas instancias de grafos, tanto dirigidos como no dirigidos. El constructor y su actualizador, analizarán la información del fichero de texto de partida, y según sea dirigido o no dirigido, implementarán su carga en el objeto de la clase GRAFO a través de la estructura de sucesores o predecesores (para grafos dirigidos o digrafos) o usando la lista de adyacencia (grafos no dirigidos). Para ello, podrás descargarte ficheros de c++ como plantillas, descargables desde el campus virtual, para ser estudiados como propuesta inicial de trabajo y que deberán ser finalizados por el alumnado.

Una vez comprobado el buen funcionamiento del constructor y su actualizador, en la segunda fase, deberás implementar recorridos sobre grafos, en profundidad y en amplitud, lo que permitirá analizar el grafo cargado pero también comprobar su correcto funcionamiento.

Esto es, durante las semanas del 11 y del 18 de marzo, justo antes de Semana Santa se explicarán durante la hora de laboratorio los detalles de la implementación de la clase GRAFO y su programa de test, así como las implementaciones de los recorridos, en amplitud y en profundidad. La semana del 1 de abril será de corrección y evaluación del trabajo en la práctica.

Semana	del 11 de marzo	del 18 de marzo	del 25 de marzo	del 1 de abril
	Tutorización de la práctica	Tutorización de la práctica	Semana Santa	Corrección de la práctica 3

3. Primera fase

3.1. Implementación, codificación y primeras estructuras

La estructura del programa a implementar será la de un menú de opciones, con la característica básica de que tales opciones serán distintas según el grafo de trabajo sea dirigido o no dirigido.

Por tanto, el programa necesita cargar un grafo desde un fichero de texto para poder iniciar el menú de opciones, ya que debe analizarlo y cargarlo correctamente en la estructura de la clase grafo. El fichero de texto con la información del grafo problema ha de tener el siguiente formato para su correcta lectura:

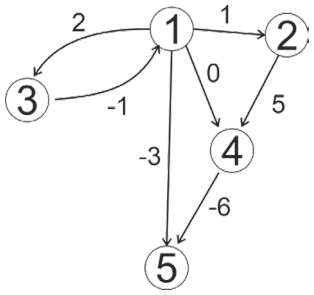
```
n m esdirigido?
i1 j1 c1
…

im jm cm
```

donde `n` es el número de nodos, `m` el número de arcos o aristas y `esdirigido?` nos indica si el grafo es dirigido situando un 1, o si no lo es situando un 0. Las siguientes `m` líneas nos indican los arcos o aristas presentes en el grafo a través de los nodos o vértices y su coste, esto es, lo que cuesta usarlo en la solución. Este atributo, el coste, será importante para la siguiente práctica.

El grafo se lee del fichero, pero se almacena su lista de sucesores y su lista de predecesores, en el caso de un grafo dirigido, y su lista de adyacencia en el caso de un grafo no dirigido, por lo que es clave la información que aparece en la primera línea del fichero de texto.

El constructor del objeto grafo, debe implementar bajo c++, estas listas. Vamos a ilustrarlo con un ejemplo, trabajando inicialmente la codificación del mismo en un fichero de texto, y analizaremos las estructuras en c++ necesarias para almacenar las listas de forma eficiente.

Trabajamos con el grafo dirigido siguiente:



Si codificamos el grafo anterior en un fichero de texto, tal y como se ha expresado, tendríamos:

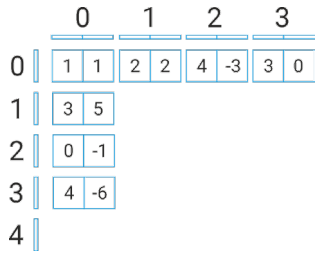
```
5 7 1
1 2 1
1 3 2
1 5 -3
1 4 0
```

```
2 4 5
3 1 -1
4 5 -6
```

Cuyo conjunto de sucesores, sin la información de los pesos, sería, por tanto:

$\Gamma_1^+ = \{2, 3, 5, 4\}$
$\Gamma_2^+ = \{4\}$
$\Gamma_3^+ = \{1\}$
$\Gamma_4^+ = \{5\}$
$\Gamma_5^+ = \emptyset$

La estructura mediante vectores de c++ que hemos de construir para implementar la codificación del grafo de partida a través de la lista de sucesores, tendría esta *idealización* gráfica:



Esto es, para almacenar la información del grafo en listas de sucesores, predecesores o adyacencia, usaremos un objeto perteneciente a la clase `GRAFO` que será definida como un vector de vectores de registros. El hecho de usar esta estructura nos provee de eficiencia en los recursos, puesto que sólo usamos la memoria que necesitamos para almacenar la información. Si usáramos una matriz, un vector bidimensional, estaríamos reservando memoria que no aseguremos que usemos.

Para ello, primero definimos la estructura, `struct`, que llamaremos `ElementoLista`, con dos miembros, en uno de ellos, `.j`, se almacenaría el nodo sucesor, predecesor, adyacente, según se trate, y en el otro, `.c`, almacenaremos otro atributo del arco o arista, en este caso, situaremos un coste o peso, de tipo `int`. Esta estructura la podemos hacer crecer, dependiendo del problema a resolver o de las necesidades de implementación del algoritmo.

```
typedef struct
{
      unsigned j; // nodo
      int      c; // atributo para expresar su peso, longitud, coste }
ElementoLista;
```

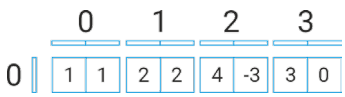
Un `ElementoLista` podríamos idealizarlo gráficamente como un eslabón con la siguiente forma:

Es decir, la codificación del nodo sucesor, predecesor o adyacente - en este caso aparece el valor `unsigned` 3 -, y el coste, - en este caso aparece el valor `int` 0 -. A continuación construimos el vector de estos registros `ElementoLista`, sabiendo que las listas de sucesores, predecesores o adyacencia son vectores de éstos.

```
typedef vector<ElementoLista> LA_nodo;
```

Esto es, mediante un vector del tipo `LA_nodo`, podemos almacenar la información de los sucesores de un nodo, los predecesores de un nodo o los adyacentes de un nodo. En tal sentido, podemos idealizarlo gráficamente, como una cadena cuyos eslabones son `ElementoLista` y que tendrían la idealización gráfica siguiente:

Esto es, `LA_nodo` es un vector, y mostramos gráficamente sus cuatro posiciones: 0, 1, 2 y 3. Como sabemos, los vectores en c++ se indexan por posiciones que comienzan en 0, no en 1. Es por lo que, cuando guardemos en la estructura de la lista de sucesores, predecesores o adyacencia, la información de los nodos, siempre restaremos una unidad. Así, la información que guardamos en este `LA_nodo`, 1, 2, 4 y 3, corresponde a los nodos, 2, 3, 5 y 4.



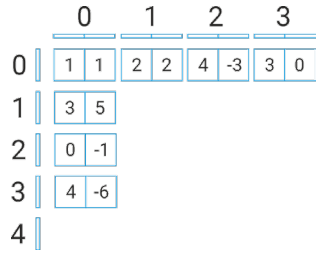
Por tanto, se comprueba que el vector que mostramos gráficamente corresponde a los sucesores del nodo 1 en el grafo que estamos usando como ejemplo.

Finalmente, un vector de `LA_nodo`, sería suficiente para almacenar la información de toda la lista de sucesores, o toda la lista de predecesores, en el caso de un grafo dirigido, o de toda la lista de adyacencia, en el caso de un grafo no dirigido.

```
vector<LA_nodo> LS;          // lista de sucesores o de adyacencia
```

Veamos sobre el grafo de trabajo todo a la vez:

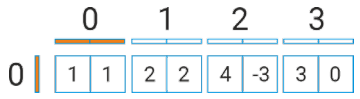
$$\Gamma_1^+ = \{2, 3, 5, 4\}$$
$$\Gamma_2^+ = \{4\}$$
$$\Gamma_3^+ = \{1\}$$
$$\Gamma_4^+ = \{5\}$$
$$\Gamma_5^+ = \emptyset$$



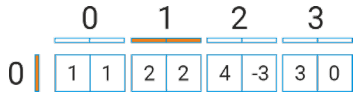
Con el esquema superior de referencia *¿Cómo acceder a los sucesores del nodo 1?*

Los sucesores del nodo 1 se sitúan en el vector `LS[1-1]`, esto es, `LS[0]`, que tiene 4 elementos (`LS[0].size()` es `4`); por tanto, accedemos a cada una de las esas cuatro posiciones: `LS[0][0]`, `LS[0][1]`, `LS[0][2]`, `LS[0][3]`, que son de tipo `ElementoLista`. Gráficamente, sería:

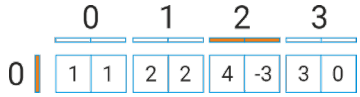
LS[0][0]



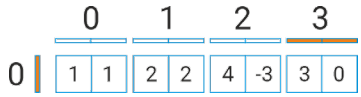
LS[0][1]



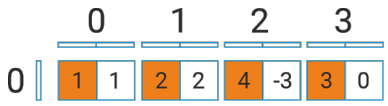
LS[0][2]



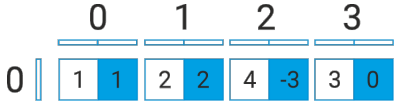
LS[0][3]



Y como cada uno de ellos es de tipo ElementoLista, tienen dos miembros: encontramos en `LS[0][0].j`, `LS[0][1].j`, `LS[0][2].j`, `LS[0][3].j`, los valores siguientes, `1`, `2`, `4` y `3`, respectivamente, que corresponden a los nodos, `2`, `3`, `5` y `4`, y por tanto, los arcos (1, 2), (1, 3), (1, 5) y (1,4).



Y encontramos en `LS[0][0].c`, `LS[0][1].c`, `LS[0][2].c`, `LS[0][3].c` los costes de esos arcos, esto es, 1, 2, -3 y 0, respectivamente.



En cambio, no hay sucesores al nodo 5, pues al ir a buscar en la posición 5-1=4, vemos que `LS[4].size()` nos devuelve el valor 0.

En resumen ¿De qué tipos son?

`LS[2]` es un vector de `ElementoLista`, que tiene tamaño 1; almacena los sucesores del nodo 3.

`LS[2][0]` es un registro del tipo `ElementoLista`; para acceder a su información, usamos `LS[2][0].j` que es de tipo `unsigned`, y `LS[2][0].c`, que almacenaría el coste del arco (3, `LS[2][0].j`+1), es decir, el arco (3, 1), que es -1.

3.2. La clase GRAFO

La clase `GRAFO` incluye la información necesaria para la gestión de los datos, su manipulación y se prepara para incluir como métodos, los procedimientos que implementan los algoritmos que resolverán algunos de los problemas que trataremos en la asignatura. Inicialmente, para esta primera parte del trabajo, es esta:

```
class GRAFO
 {
       unsigned dirigido;
       unsigned n;
       unsigned m;
       vector<LA_nodo> LS;
       vector<LA_nodo> LP;
       vector<LA_nodo> A;
       void destroy();
       void build (char nombrefichero[85], int &errorapertura);
public:
     GRAFO(char nombrefichero[], int &errorapertura);
     void actualizar (char nombrefichero[], int &errorapertura);
     unsigned Es_dirigido();
     void Info_Grafo();
     void Mostrar_Listas(int l);
     void Mostrar_Matriz();
     ~GRAFO();
};
```

Para implementar el constructor del objeto `GRAFO`, usaremos un método privado:

```
void build (char nombrefichero[85], int &errorapertura);
```

Este método se encarga de leer la codificación del grafo desde el fichero de texto con nombre `nombrefichero`,desde un tipo `ifstream` y de asignar los atributos y las estructuras de la clase `GRAFO`, construyendo un objeto que denominaremos `G`, y devolviendo `0` en `errorapertura` si no ha habido incidencia alguna, y `1` si la ha habido. Con este valor devuelto, podremos saber si la carga del grafo ha sido correcta, y mostrar el menú de acciones.

¿Cómo abrir y leer de un fichero de texto?

Usaremos la librería `fstream` para poder gestionar ficheros de entrada de datos, `ifstream`. Así, las primeras líneas de código del constructor deberán incluir:

```
ifstream textfile; //definimos el objeto textfile como ifstream
textfile.open(nombrefichero); // abrimos el fichero para lectura

if (textfile.is_open()) //verificamos que se ha accedido correctamente
   /*leemos por conversión implícita el número de nodos, arcos y el
atributo dirigido en la primera línea de fichero de texto con la
información del grafo problema */
   textfile >> (unsigned &) n >> (unsigned &) m >> (unsigned &) dirigido;
   /* recuerda: los nodos internamente se numeran desde 0 a n-1 */
   /* creamos la lista de sucesores… sigue leyendo*/
```

Tras la lectura de la primera línea, ya conocemos la dimensión del grafo, esto es, el número de nodos, el número de arcos o aristas, - lo cual nos indica el número de líneas que aún hemos de leer del fichero -, y el tipo de grafo que es: dirigido o no dirigido. Si es dirigido, debemos construir tanto la lista de sucesores como la de predecesores, que se almacenarán en `LS` y `LP`, respectivamente.

Conocido `n`, podemos dimensionar `LS` con el método `resize`, esto es, `LS.resize(n)`, obteniendo el *acceso* a los vectores vacíos, `LS[0], LS[1], …, LS[n-1]`. Se trata de guardar en `LS[i-1]` la información de los sucesores del nodo `i`.

Para ello, cada vez que leamos una línea del fichero de texto de la forma `i j c` usamos una variable auxiliar, que podemos llamar `dummy`, del tipo `ElementoLista` para asignar estos dos últimos valores. Luego, con el método `push_back`, introducimos la información del sucesor en `LS[i-1]`, esto es, `LS[i-1].push_back(dummy)`, donde `dummy.j` es `j-1` y `dummy.c` es `c`.

Por tanto, insistimos, es importante saber que, si bien el usuario trabaja con un conjunto de nodos {1, 2, 3, 4, …, n}, en la estructura `GRAFO`, la información que se almacena trabaja, respectivamente, con el conjunto {0, 1, 2, 3, …, n-1}. Esto ha de tratarse con cuidado porque puede ser fuente de errores.

¿Qué ocurre con los grafos no dirigidos?

Es importante saber que, en el caso de los grafos no dirigidos, la adyacencia es simétrica. Esto es, si leemos del fichero de texto la arista `(i, j)`, debemos situar `j` como adyacente de `i`, pero también a `i` como adyacente de `j`, excepto en el caso de que se trate de un bucle. Es decir, en el caso de `(i, i)` sólo hay que realizar una inserción con el `push_back`. La información de la lista de adyacencia se almacena en `LS`, y `LP` no se usa.

¿Por tanto, cómo se implementaría el método `build()`*?*

Si unimos lo expresado hasta el momento, el método comenzaría de la forma siguiente:

```
void GRAFO :: build (char nombrefichero[85], int &errorapertura)
{      ElementoLista dummy;
       ifstream textfile;
       textfile.open(nombrefichero);
       if (textfile.is_open())
           {
              unsigned i, j, k;
              // leemos por conversion implicita el numero de nodos, arcos y el atributo dirigido
              textfile >> (unsigned &) n >> (unsigned &) m >> (unsigned &) dirigido;
              // los nodos internamente se numeran desde 0 a n-1
              // creamos las n listas de sucesores
              LS.resize(n);
             // leemos los m arcos
              for (k=0;k<m;k++)
              {
                     textfile >> (unsigned &) i  >> (unsigned &) j >> (int &) dummy.c;
                     //damos                  los                  valores                  a                  dummy.j;
                     //situamos en la posición de LS que corresponda a dummy mediante push_back()
                     //¿Cómo construímos LS en el caso de un grafo no dirigido?
                     //atención: ¿cómo ir construyendo LP?
                     …
```

Una vez terminado, el constructor sería, simplemente:

```
GRAFO::GRAFO(char nombrefichero[85], int &errorapertura)
{
       build (nombrefichero, errorapertura);
}
```

Por otro lado, para limpiar y liberar la memoria en donde se almacena el grafo, LS, y LP si el grafo es dirigido, usamos el sencillo método `destroy()`.

```
void GRAFO :: destroy()
{
	for (unsigned i=0; i< n; i++)
	{
	LS[i].clear();
	if (dirigido == 1)
		{
		LP[i].clear();
		};
	}
	LS.clear();
	LP.clear();
}
```

Y por tanto, el destructor será:

```
GRAFO::~GRAFO()
{
	destroy();
}
```

¿Cómo actualizar el grafo cargando un nuevo grafo desde fichero?

En esta ocasión usaremos un método que combina dos: primero libera la memoria que ocupaba el anterior grafo con `destroy`(), y luego carga la información del nuevo grafo desde fichero con `build`.

```
void GRAFO:: actualizar (char nombrefichero[85], int &errorapertura)
{
//Limpiamos la memoria ocupada en la carga previa, con el destructor
destroy();
//Leemos del fichero y actualizamos G con nuevas LS y, en su caso, LP
build(nombrefichero, errorapertura);
```

```
}
```

3.3. Resumen de la primera fase de la práctica: ficheros a incluir, métodos a implementar

Para poder avanzar e implementar en esta primera parte la carga de los ficheros de grafos problema, la construcción del objeto grafo y su visualización y comprobación, son necesarios tres ficheros:

El fichero **`grafo.h`** es el de cabecera de las biblioteca de la clase `GRAFO`. Contiene las instrucciones `include` de las bibliotecas que necesitaremos, así como constantes, además de las definiciones de las estructuras que usaremos, entre ellas, la del objeto grafo y los métodos que lo gestionan. Puede descargarse desde el campus virtual una versión inicial con los tipos de datos y la estructura de la clase para la primera parte de la práctica.

El fichero **`grafo.cpp`** desarrolla la implementación de los métodos del objeto definido en el fichero anterior que es una plantilla a completar ustedes para esta primera parte de la práctica.

Según hemos visto, los métodos necesarios implementar de la biblioteca `grafo.h` en `grafo.cpp` para esta primera fase de la práctica son:

```
void build (char nombrefichero[85], int &errorapertura);
```

Es el método para cargar desde fichero los datos del grafo, y según sea un grafo dirigido o no dirigido, construir la lista de sucesores y la lista de predecesores, LS y LP, respectivamente en el primer caso, o sólo la lista de adyacencia en LS. Si ocurriera algún error en la apertura del fichero de texto, devolvería un 1 en `errorapertura`.

```
void destroy();
```

Es el método para liberar la memoria de las estructuras LS y, en su caso, LP. Este método se detalla en el presente guión y se encontrará disponible en la plantilla de `grafo.cpp`.

```
GRAFO(char nombrefichero[], int &errorapertura);
```

Es el método constructor, y sus parámetros son los mismos que el método `build` por razones obvias. Su detalle se incluye en el presente guión y se encontrará disponible en la plantilla `grafo.cpp`.

```
~GRAFO();
```

Es el destructor, y se dedica a liberar la memoria de las listas de adyacencia. No olvides ejecutarlo antes de la finalización del programa.

```
void actualizar (char nombrefichero[], int &errorapertura);
```

Como se ha indicado, es un método análogo al constructor, pero que te permitirá, tras liberar memoria de las listas, cargar la información de un nuevo grafo desde fichero. Su detalle se incluye en el presente guión y se encontrará disponible en la plantilla grafo.cpp.

```
unsigned Es_dirigido();
```

Devuelve 0 si el grafo es no dirigido, y 1 en otro caso. Esta función servirá para distinguir que tipo de grafo se ha cargado y, desde el programa principal, mostrar el menú de opciones para grafos dirigidos o no dirigidos.

```
void Info_Grafo();
```

Muestra la información básica de un grafo: número de nodos, su orden, número de arcos o aristas y su tipo.

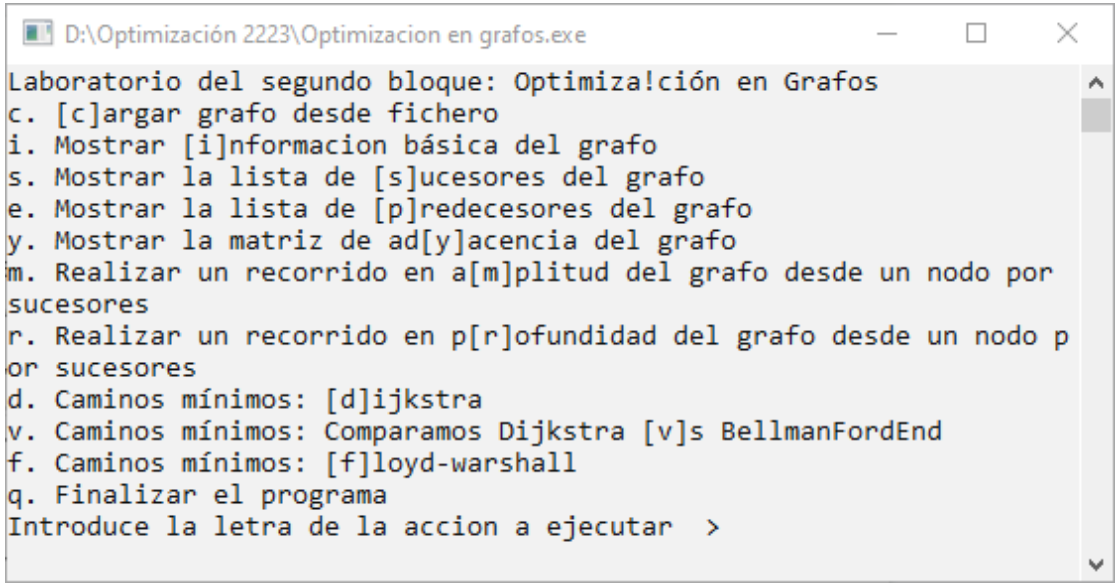
```
void Mostrar_Listas(int l);
```

Según el parámetro `l`, mostrará la lista de sucesores y predecesores, o sólo la lista de adyacentes, según el tipo de grafo que sea. Por ejemplo, si el grafo es no dirigido, el valor de `l=0` mostrará la lista de adyacencia del grafo; si el grafo es dirigido, el valor `l=+1` mostrará la lista de sucesores y `l=-1` la lista de predecesores.

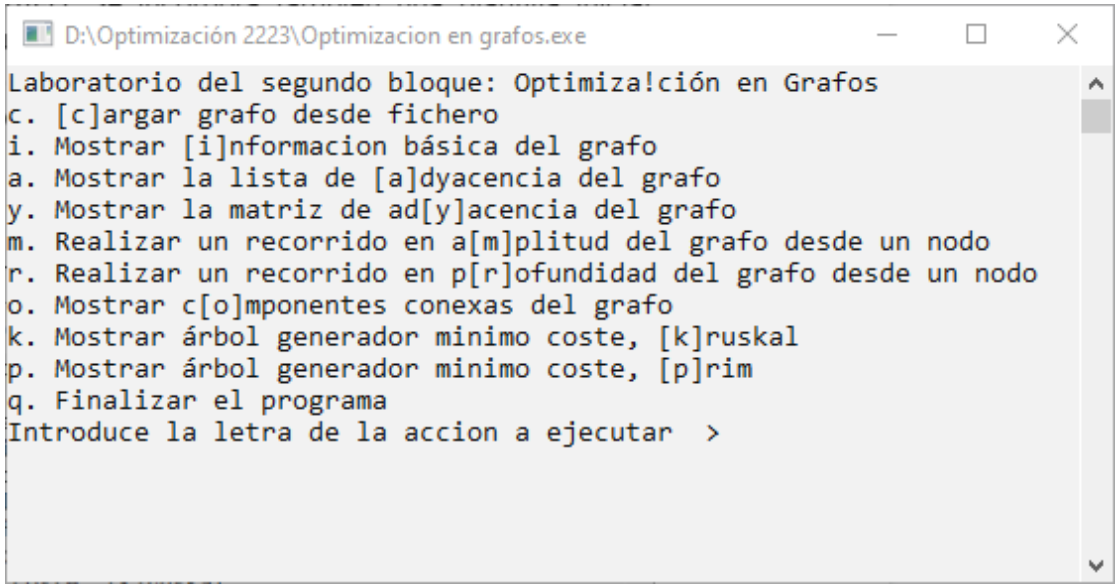
La forma de mostrar la lista, con los datos de los nodos, debe ser compacta y fácil de leer en la pantalla. Para cada nodo, sus sucesores, predecesores o adyacentes, y sus costes o pesos, deberán caber en una línea, y toda la información, en una pantalla. Para ello usará el método `Mostrar_Lista(vector<LA_nodo> L)`, que simplemente recorrerá la lista `L` según necesitemos que sea `LS` - para la lista de sucesores o la lista de adyacentes según sea el grafo dirigido o no dirigido, respectivamente -, o `LP` - para la lista de predecesores -.

El fichero **`main.cpp`** implementa un sencillo programa menú que usa los métodos de la clase para testear la clase GRAFO. Se incorpora también una plantilla inicial incompleta de este fichero a los alumnos y alumnas.

El resultado se ilustra en los siguientes dos pantallazos. El primero, donde el grafo cargado es dirigido y se ofertan todas las opciones posibles para este tipo de grafo, más de las que se piden en esta primera práctica.


D:\Optimización 2223\Optimizacion en grafos.exe
Laboratorio del segundo bloque: Optimiza!ción en Grafos
c. [c]argar grafo desde fichero
i. Mostrar [i]nformacion básica del grafo
s. Mostrar la lista de [s]ucesores del grafo
e. Mostrar la lista de [p]redecesores del grafo
y. Mostrar la matriz de ad[y]acencia del grafo
m. Realizar un recorrido en a[m]plitud del grafo desde un nodo por sucesores
r. Realizar un recorrido en p[r]ofundidad del grafo desde un nodo por sucesores
d. Caminos mínimos: [d]ijkstra
v. Caminos mínimos: Comparamos Dijkstra [v]s BellmanFordEnd
f. Caminos mínimos: [f]loyd-warshall
q. Finalizar el programa
Introduce la letra de la accion a ejecutar >

La segunda, muestra el menú de opciones para un grafo no dirigido, también con más opciones que las que explicamos en esta primera práctica.



Como se comprueba, hay opciones comunes en ambos menú, como son la opción de cargar un nuevo grafo, mostrar la información básica, o finalizar el programa.

4. Segunda fase

Según hemos visto en clase, un recorrido sobre un grafo es una *estrategia* que permite visitar sus nodos de una forma sistemática y ordenada. Se pretende que, dada cierta filosofía de orden o prioridad que sea de interés, se visiten todos los nodos de manera eficiente: todos visitados y sin repetir visita.

4.1. Trabajando el recorrido en profundidad, DFS

Para desarrollar los recorridos partiremos en ambos casos de la expresión en pseudocódigo de las transparencias de la traza de este recorrido, para implementarlo en c++. La expresión del recorrido en profundidad que usaremos es la recursiva por cuestión de diseño eficiente: se hace coincidir la

pila que gestiona los nodos pendientes de visitar, ToDo, con la pila de llamadas recursivas. Debemos añadir el siguiente método en la parte privada del objeto GRAFO en `grafo.h`, y su desarrollo en `grafo.cpp`.

```
void GRAFO::dfs_num(unsigned i, //nodo desde el que realizamos el recorrido en profundidad
                    vector<LA_nodo>  L, //lista que recorremos, LS o LP; por defecto LS
                    vector<bool> &visitado, //vector que informa de si un nodo ha sido visitado
                    vector<unsigned> &prenum, //almacenamos en la posición i el preorden del nodo i+1
                    unsigned &prenum_ind, //contador del preorden
                    vector<unsigned> &postnum, //almacenamos en la posición i el postorden del nodo i+1
                    unsigned &postnum_ind) //contador del postorden
                    //Recorrido en profundidad recursivo con recorridos enum y postnum
{
      visitado[i] = true; //visitamos el nodo i+1
      prenum[prenum_ind++]=i;//asignamos el orden de visita prenum que corresponde el nodo i+1
      for (unsigned j=0;j<L[i].size();j++) //recorremos la adyacencia del nodo visitado, esto es, i+1
            if (!visitado[L[i][j].j])
               {
               dfs_num(L[i][j].j, L, visitado, prenum, prenum_ind, postnum, postnum_ind);
               };
      postnum[postnum_ind++]=i;//asignamos el postorden de visita que corresponde al nodo i+1 al regreso
}
```

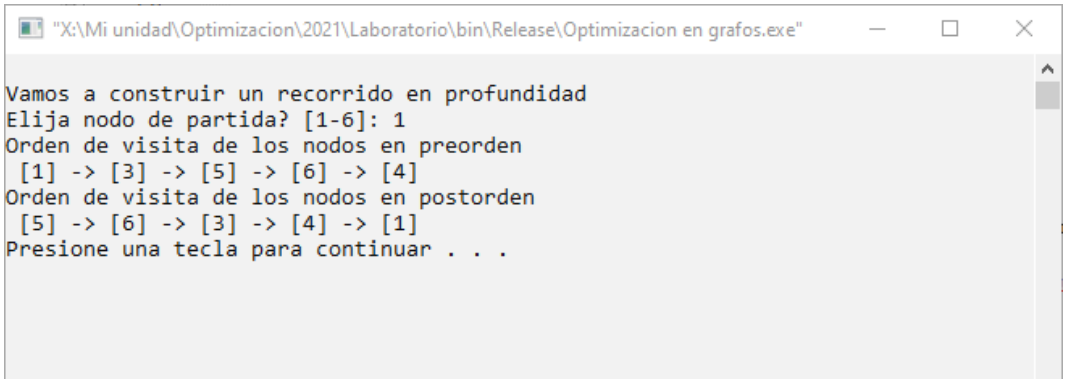
Con este método puede ya construirse el procedimiento del recorrido en profundidad, que inicialice los vectores, pida al usuario el nodo del que partirá el recorrido por la lista LS, y que, finalmente, muestre el preorden y el postorden resultante.

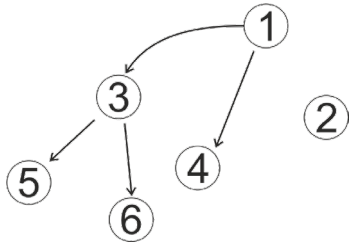
```
void GRAFO::RecorridoProfundidad()
{
      //creación e inicialización de variables y vectores
      //solicitud al usuario del nodo inicial del recorrido en profundidad
      //mostrar en pantalla el preorden
      //mostrar en pantalla el postorden
}
```

Es muy importante entender que el preorden y el postorden depende del lugar en el que aparecen los arcos o aristas en `LS` o, en su caso, `LP`. Y ese orden, depende de cómo aparezcan en el fichero de texto que usamos para introducir el programa. Téngase esto en cuenta a la hora de corregir el resultado del programa con una prueba hecha por uno mismo. Para el grafo siguiente,

$$\Gamma_1^+ = \{3,4\}; \Gamma_2^+ = \emptyset; \Gamma_3^+ = \{5,6\}; \Gamma_4^+ = \emptyset;\ \Gamma_5^+ = \emptyset;\ \Gamma_6^+ = \emptyset;$$

El preorden y postorden que construye son los siguientes:





4.2. Trabajando el recorrido en amplitud, BFS

Para implementar este recorrido en `c++`, también desde la expresión en pseudocódigo de las transparencias, debemos contar con la librería que gestiona las colas para la estructura `ToDo`. De la librería que carguemos, `queue`, cuya línea include ya consta en la plantilla de `grafo.h`, necesitamos:

- el tipo cola, `queue`, que se inicializa como cola vacía
- el método `push`, que introduce un elemento en la cola
- el método `empty`, que nos indica si la cola está vacía
- el método `front`, que nos informa del primer elemento de la cola
- el método `pop`, que hace salir el primer elemento de la cola

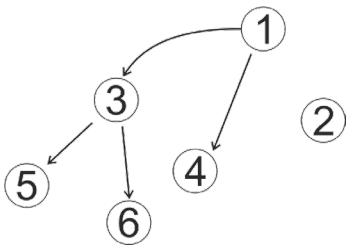
Debemos añadir el siguiente método en la parte privada del objeto `GRAFO` en `grafo.h` y su desarrollo en `grafo.cpp`:

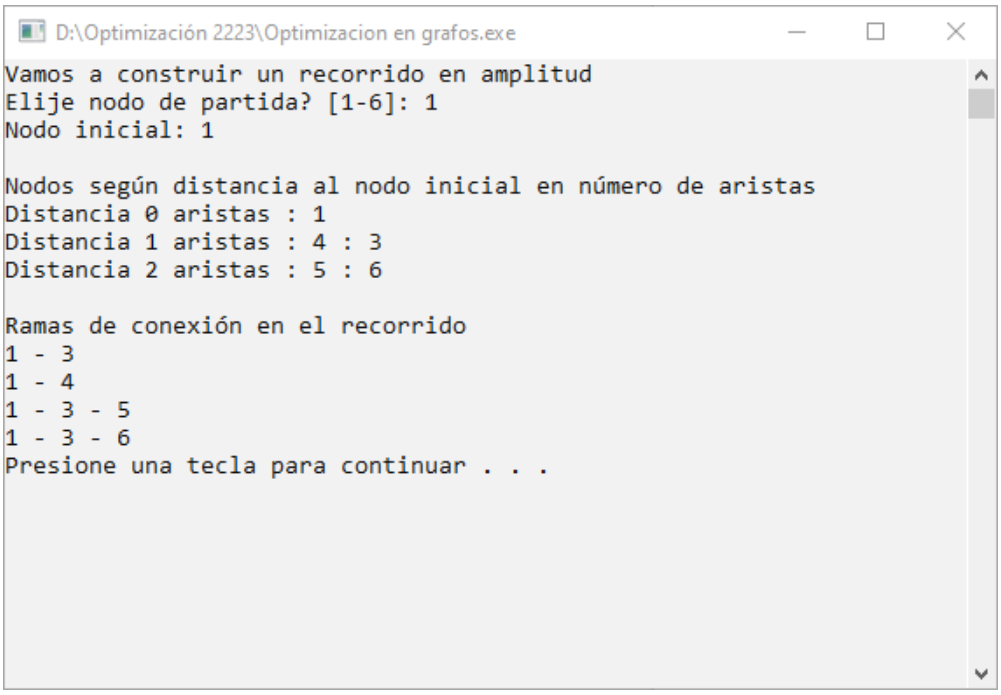
```
void GRAFO::bfs_num(unsigned i, //nodo desde el que realizamos el recorrido en amplitud
                    vector<LA_nodo>  L, //lista que recorremos, LS o LP; por defecto LS
                    vector<unsigned> &pred, //vector de predecesores en el recorrido
                    vector<unsigned> &d) //vector de distancias a nodo i+1
//Recorrido en amplitud con la construcción de pred y d: usamos la cola
{
    vector<bool> visitado; //creamos e iniciamos el vector visitado
    visitado.resize(n, false);
    visitado[i] = true;

    pred.resize(n, 0); //creamos e inicializamos pred y d
    d.resize(n, 0);
    pred[i] = i;
    d[i] = 0;

    queue<unsigned> cola; //creamos e inicializamos la cola
    cola.push(i);//iniciamos el recorrido desde el nodo i+1

    while (!cola.empty()) //al menos entra una vez al visitar el nodo i+1 y continúa hasta que la cola se vacíe
    {   unsigned k = cola.front(); //cogemos el nodo k+1 de la cola
        cola.pop(); //lo sacamos de la cola
        //Hacemos el recorrido sobre L desde el nodo k+1
        for (unsigned j=0;j<L[k].size();j++)
            //Recorremos todos los nodos u adyacentes al nodo k+1
            //Si el nodo u no está visitado
            {
            //Lo visitamos
            //Lo metemos en la cola
            //le asignamos el predecesor
            //le calculamos su etiqueta distancia
            };
        //Hemos terminado pues la cola está vacía
    };
}
```

Con este método puede ya construirse el procedimiento del recorrido en amplitud, que inicialice los vectores, pida al usuario el nodo del que partirá el recorrido por la lista LS, y que, finalmente, muestre los valores de los predecesores y la etiqueta distancia.

```
void GRAFO::RecorridoAmplitud()
{
	//creación e inicialización de variables y vectores
	//solicitud al usuario del nodo inicial del recorrido en amplitud
	//mostrar en pantalla la etiqueta distancia
	//mostrar en pantalla los predecesores
}
```

En la presente propuesta, se mostraría, para cada nodo, su etiqueta distancia; y para cada nodo, su predecesor. Sin embargo, en el ejecutable que se comparte, para el recorrido en amplitud, tanto la etiqueta distancia, como los predecesores, se muestran de forma distinta. Para el caso de la etiqueta distancia, se muestran los nodos ordenados según su valor de etiqueta distancia: primero los de etiqueta distancia cero, - que es sólo el nodo inicial -, luego aquellos nodos a distancia 1 arco o arista, luego aquellos nodos a distancia 2 arcos o aristas, y así sucesivamente. En el caso de los predecesores, se muestran las cadenas o caminos que conectan el nodo inicial a cada uno del resto de nodos accesibles. La pantalla siguiente ilustra un ejemplo de salida sobre este grafo:





Evaluación

Para superar esta práctica, los procedimientos de carga de las listas de sucesores, predecesores y adyacencia, para ambos tipos de grafos, deben estar correctos, debiendo compilar y ejecutar

sin problema el programa menú que testea las opciones. Además debe ser capaz de cargar varios ficheros de grafos sin salir del ejecutable y sin constatar errores al mostrar lo cargado. Todas las opciones de la primera fase son obligatorias.

También es obligatorio la implementación del recorrido en profundidad, y del recorrido en amplitud mostrando tanto la etiqueta distancia *d* de cada nodo, así como los predecesores, *pred*, en la arborescencia que crea este último recorrido.

Para el apto +, se les propondrá incluir o modificar el código para que presente alternativas y se valorará el resultado.

Asimismo, al finalizar la evaluación de la práctica, si es apto -, apto o apto +, el alumno responderá a un corto cuestionario para evaluar sus conocimientos sobre la práctica y los contenidos teóricos que la sustentan.