ESTRUCTURAS DE DATOS LINEALES

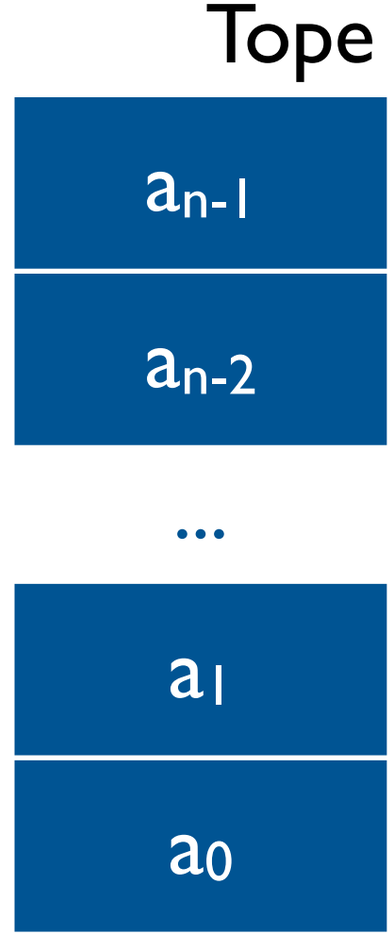
PILAS

Joaquín Fernández-Valdivia
Javier Abad
Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Granada

Pilas

- Las estructuras de datos lineales se caracterizan porque consisten en una secuencia de elementos, a_0, a_1,..., a_n, dispuestos a lo largo de una dimensión

- Las pilas son un tipo de ED lineales que se caracterizan por su comportamiento LIFO (*Last In, First Out*): todas las inserciones y borrados se realizan en un extremo de la pila que llamaremos **tope**



- **Operaciones básicas:**
  - Tope: devuelve el elemento del tope
  - Poner: añade un elemento encima del tope
  - Quitar: quita el elemento del tope
  - Vacia: indica si la pila está vacía

Pilas

Esquema de la interfaz

```
#ifndef __PILA_H__
#define __PILA_H__

class Pila{
private:
  ...    //La implementación que se elija

public:
  Pila();
  Pila(const Pila & p);
  ~Pila() = default;
  Pila & operator=(const Pila &p);

  bool vacia() const;
  void poner(const Tbase & c);
  void quitar();
  Tbase tope() const;
};

#endif /* Pila_hpp */
```

→

```
Tbase & tope();
const Tbase & tope() const;
```

Podríamos sobrecargar quitar() y poner() en los operadores -- y +=

Ahora bien, ¿tiene sentido que devuelvan la pila? ¿Podemos sobrecargarlos como métodos void?

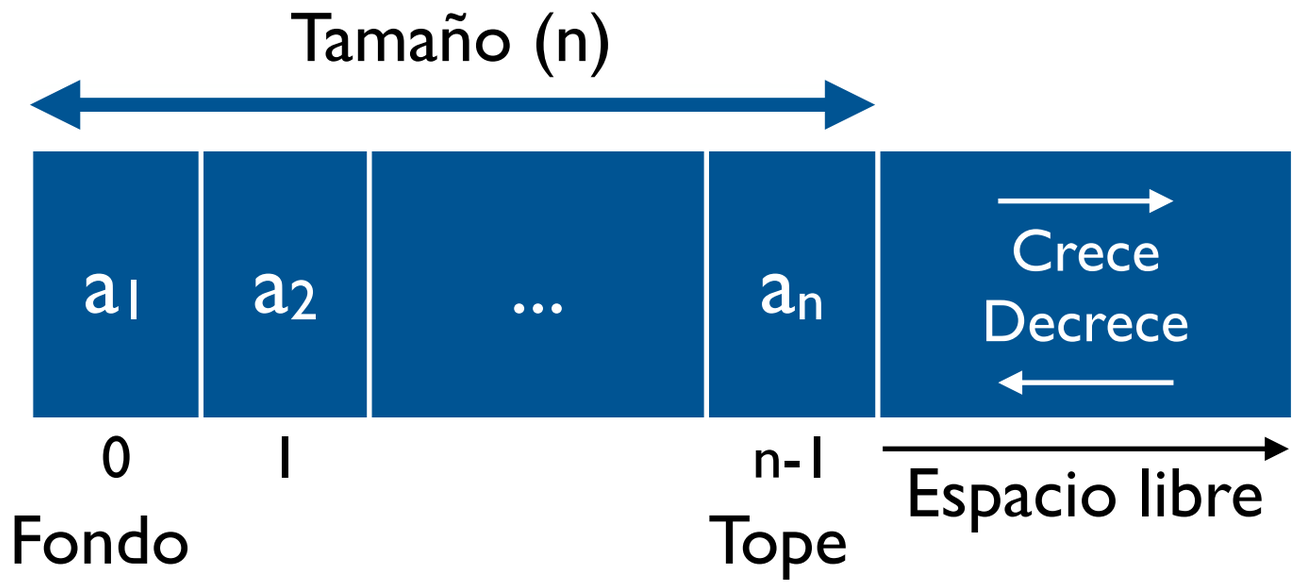
Pilas

Uso de una pila

```
#include <iostream>
#include "Pila.hpp"
using namespace std;

int main() {
  Pila p, q;
  char dato;

  cout << "Escriba una frase" << endl;
  while((dato=cin.get())!='\n')
    p.poner(dato);

  cout << "La escribimos del revés" << endl;
  while(!p.vacia()){
    cout << p.tope();
    q.poner(p.tope());
   p.quitar();
 }

  cout << endl << "La frase original era" << endl;
  while(!q.vacia()){
    cout << q.tope();
    q.quitar();
  }
  cout << endl;

  return 0;
}
```

Pilas. Implementación con vectores

Almacenamos la secuencia de valores en un vector



- El fondo de la pila está en la posición 0
- El número de elementos varía. Debemos almacenarlo
- Si insertamos elementos, el vector puede agotarse (tiene una capacidad limitada). Podemos resolverlo con memoria dinámica

Pila.hpp

```
#ifndef __PILA_H__
#define __PILA_H__

typedef char Tbase;
const int TAM =500;

class Pila{
private:
  Tbase datos[TAM];
  int nelem;
public:
  Pila();
  Pila(const Pila & p);
  ~Pila() = default;
  Pila & operator=(const Pila &p);
  bool vacia() const;
  void poner(const Tbase & c);
  void quitar();
  Tbase & tope();
  const Tbase & tope() const;
private:
  //Método auxiliar privado
  void copiar(const Pila &p);
};
#endif /* Pila_hpp */
```

Pila.cpp

```
#include <cassert>
#include "Pila.hpp"
//No se incluyen constructores, destructor ni operador de asignación

bool Pila::vacia() const{
  return(nelem==0);
}

void Pila::poner(const Tbase &c){
  assert(nelem<TAM);
  datos[nelem++] = c;
}

void Pila::quitar(){
  assert(nelem>0);
  nelem--;
}

Tbase & Pila::tope(){
  assert(nelem>0);
  return datos[nelem-1];
}

const Tbase & Pila::tope() const{
  assert(nelem>0);
  return datos[nelem-1];
}
```

- Ventaja: implementación muy sencilla
- Desventaja: limitaciones de la memoria estática. Se desperdicia memoria y puede desbordarse el espacio reservado

Ejercicios propuestos:

- Desarrollar el resto de métodos
- Sobrecargar quitar() y poner() en los operadores -- y +=

Pila.hpp (Vectores dinámicos)

```
#ifndef __PILA_H__
#define __PILA_H__

typedef char Tbase;
const int TAM =10;
class Pila{
private:
  Tbase *datos;
  int reservados;
  int nelem;
public:
  Pila(int tam=TAM);
  Pila(const Pila & p);
  ~Pila();
  Pila & operator=(const Pila &p);
  bool vacia() const;
  void poner(Tbase c);
  void quitar();
  Tbase & tope();
  const Tbase & tope() const;
private: //Métodos auxiliares
  void resize(int n);
  void copiar(const Pila& p);
  void liberar();
  void reservar(int n);
};
#endif /* Pila_hpp */
```

¡Ojo! Característica específica de una implementación vectorial

Pila.cpp (Vectores dinámicos)

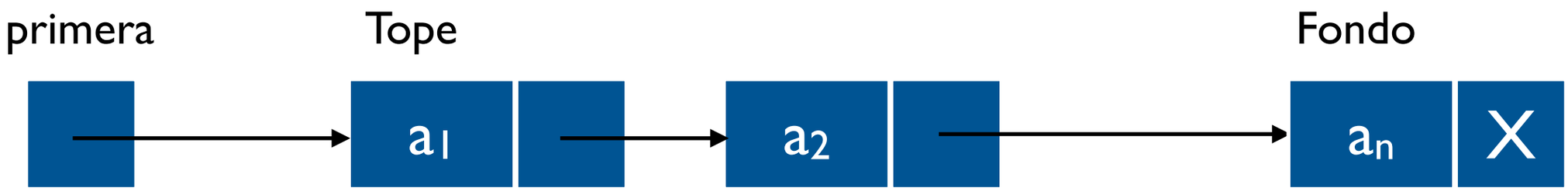
```
#include <cassert>
#include "Pila.hpp"

//No se incluyen constructores, destructor, resize ni operador =

bool Pila::vacia() const{
  return(nelem==0);
}

void Pila::poner(Tbase c){
  if (nelem==reservados)
    resize(2*reservados);
  datos[nelem++] = c;
}

void Pila::quitar(){
  assert(nelem>0);
  nelem--;
  if(nelem<reservados/4)
    resize(reservados/2);
}

Tbase & Pila::tope(){
  assert(nelem>0);
  return datos[nelem-1];
}
```

- Esta implementación es mucho más eficiente en cuanto a consumo de memoria
- Ejercicios propuestos:
  - Desarrollar el resto de métodos
  - Desarrollar una clase Pila genérica con templates

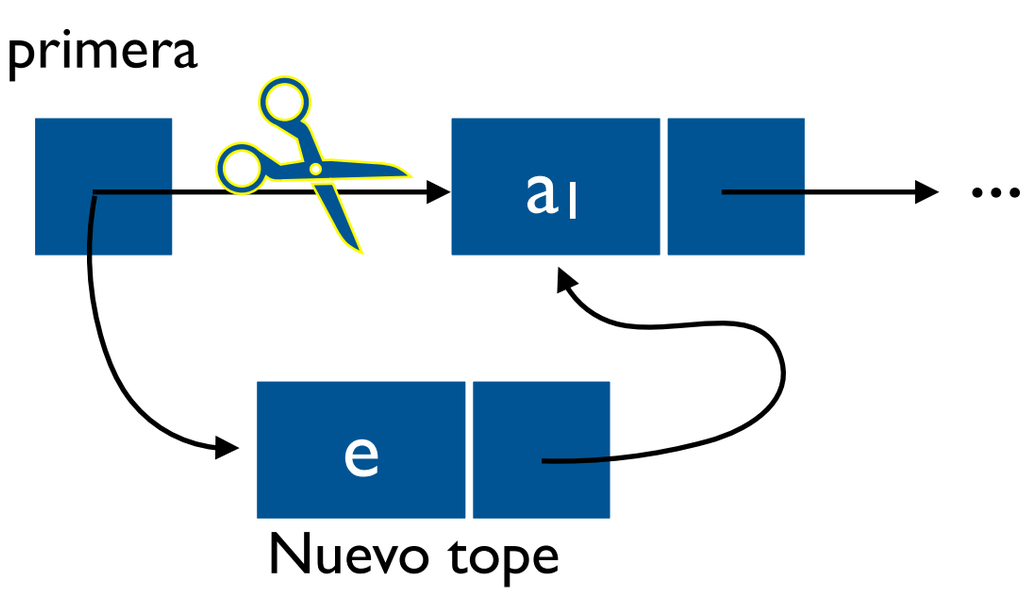
```
const Tbase & Pila::tope() const{
  assert(nelem>0);
  return datos[nelem-1];
}
```

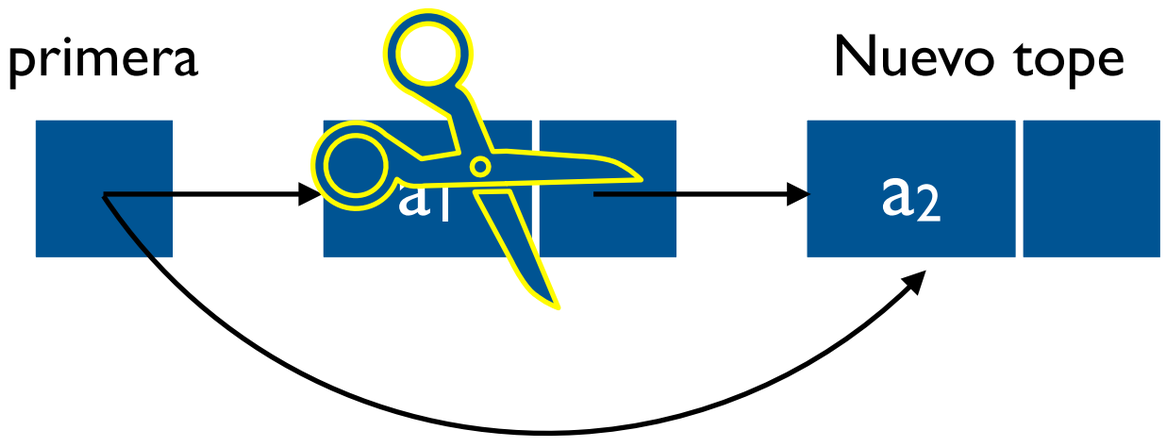
Pilas. Implementación con celdas enlazadas

Almacenamos la secuencia de valores en celdas enlazadas



- Una pila vacía tiene un puntero (primera) nulo
- El tope de la pila está en la primera celda (muy eficiente)
- La inserción y borrado de elementos se hacen sobre la primera celda





Pila.h

```
#ifndef __PILA_H__
#define __PILA_H__

typedef char Tbase;

struct CeldaPila{
  Tbase elemento;
  CeldaPila * sig;
};

class Pila{
private:
  CeldaPila * primera;

public:
  Pila();
  Pila(const Pila& p);
  ~Pila();
  Pila& operator=(const Pila& p);

  bool vacia() const;
  void poner(Tbase c);
  void quitar();
  Tbase tope() const;

private:
  void copiar(const Pila& p);
  void liberar();
};

#endif // Pila_hpp
```

Pila.cpp

```
#include "Pila.hpp"

Pila::Pila(){
  primera = 0;
}

Pila::Pila(const Pila& p){
  copiar(p);
}

Pila::~Pila(){
  liberar();
}

Pila& Pila::operator=(const Pila &p){
  if(this!=&p){
    liberar();
    copiar(p);
  }
  return *this;
}
```

```
void Pila::poner(Tbase c){
  CeldaPila *aux = new CeldaPila;
  aux->elemento = c;
  aux->sig = primera;
  primera = aux;
}

void Pila::quitar(){
  CeldaPila *aux = primera;
  primera = primera->sig;
  delete aux;
}

Tbase Pila::tope() const{
  return primera->elemento;
}

bool Pila::vacia() const{
  return (primera==0);
}
```

Pila.cpp

```
void Pila::copiar(const Pila &p){
  if (p.primera==0)
    primera = 0;
  else{
    primera = new CeldaPila;
    primera->elemento = p.primera->elemento;
    CeldaPila *orig = p.primera,
              *dest = primera;
    while(orig->sig!=0){
      dest->sig = new CeldaPila;
      orig = orig->sig;
      dest = dest->sig;
      dest->elemento = orig->elemento;
    }
    dest->sig = 0;
  }
}

void Pila::liberar(){
  CeldaPila* aux;
  while(primera!=0){
    aux = primera;
    primera = primera->sig;
    delete aux;
  }
  primera = 0;
}
```

- Esta implementación tiene un consumo de memoria directamente proporcional al número de elementos.
- Coste adicional: los punteros empleados para conectar celdas
- Ejercicio propuesto:
  - Desarrollar una clase Pila genérica con templates

TDA stack (STL)

Uso de una pila
STL

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

int main(){
  stack<char> p, q;
  char dato;

  cout << "Escriba una frase" << endl;
  while((dato=cin.get())!='\n')
    p.push(dato);

  cout << "La escribimos del revés" << endl;
  while(!p.empty()){
    cout << p.top();
    q.push(p.top());
    p.pop();
  }

  cout << endl << "La frase original era" << endl;
  while(!q.empty()){
    cout << q.top();
    q.pop();
  }
  cout << endl;
  return 0;
}
```

ESTRUCTURAS DE DATOS LINEALES

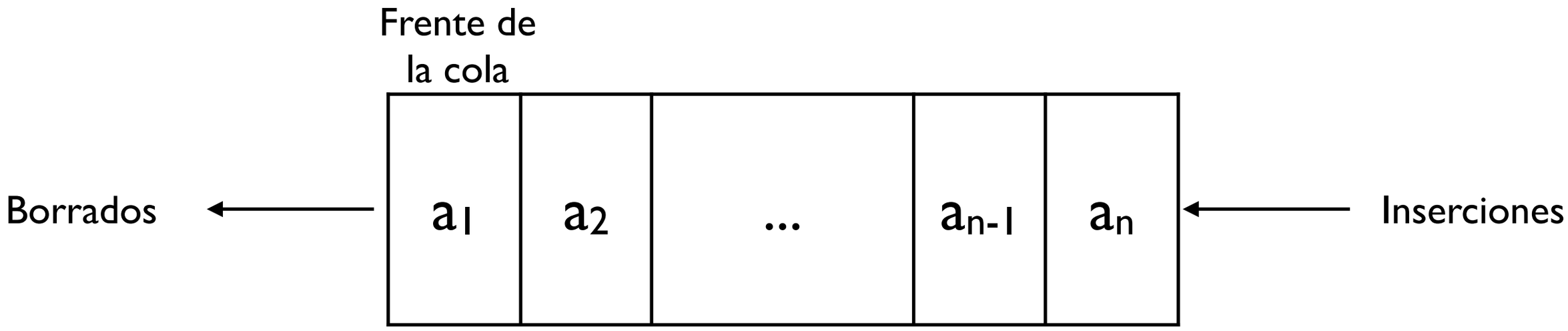
COLAS

Joaquín Fernández-Valdivia
Javier Abad
Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Granada

DECSAI

Colas

- Una cola es una estructura de datos lineal en la que los elementos se insertan y borran por extremos opuestos
- Se caracteriza por su comportamiento **FIFO** (*First In, First Out*)



- **Operaciones básicas:**
  - Frente: devuelve el elemento del frente
  - Poner: añade un elemento al final de la cola
  - Quitar: elimina el elemento del frente
  - Vacia: indica si la cola está vacía

Colas

Esquema de la interfaz

```
#ifndef __COLA_H__
#define __COLA_H__

typedef char Tbase;

class Cola{
private:

  ...          //La implementación que se elija

public:
  Cola();
  Cola(const Cola& c);
  ~Cola();
  Cola& operator=(const Cola& c);

  bool vacia() const;
  void poner(const Tbase valor);
  void quitar();
  Tbase frente() const;
};

#endif // __COLA_H__
```

```
Tbase & frente();
const Tbase & frente() const;
```

🤔🤔

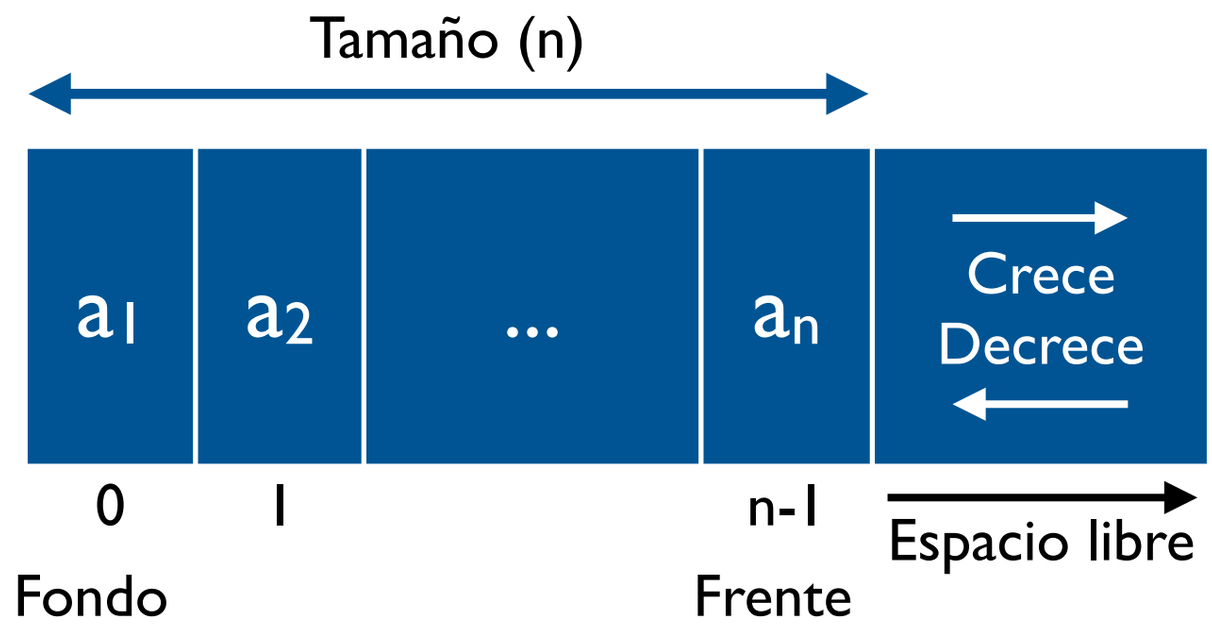
Colas

Uso de una cola

```
#include <iostream>
#include "Pila.hpp"
#include "Cola.hpp"
using namespace std;

int main() {
  Pila p;
  Cola c;
  char dato;
  cout << "Escriba una frase" << endl;
  while((dato=cin.get()) !='\n')
    if (dato != ' '){
      p.poner(dato);
      c.poner(dato);
    }
  bool palindromo = true;
  while(!p.vacia() && palindromo){
    if(c.frente() != p.tope())
      palindromo = false;
    p.quitar();
    c.quitar();
  }
  cout << "La frase "
       << (palindromo?"es":"no es")
       << " un palíndromo" << endl;
  return 0;
}
```

Colas. Implementación con vectores

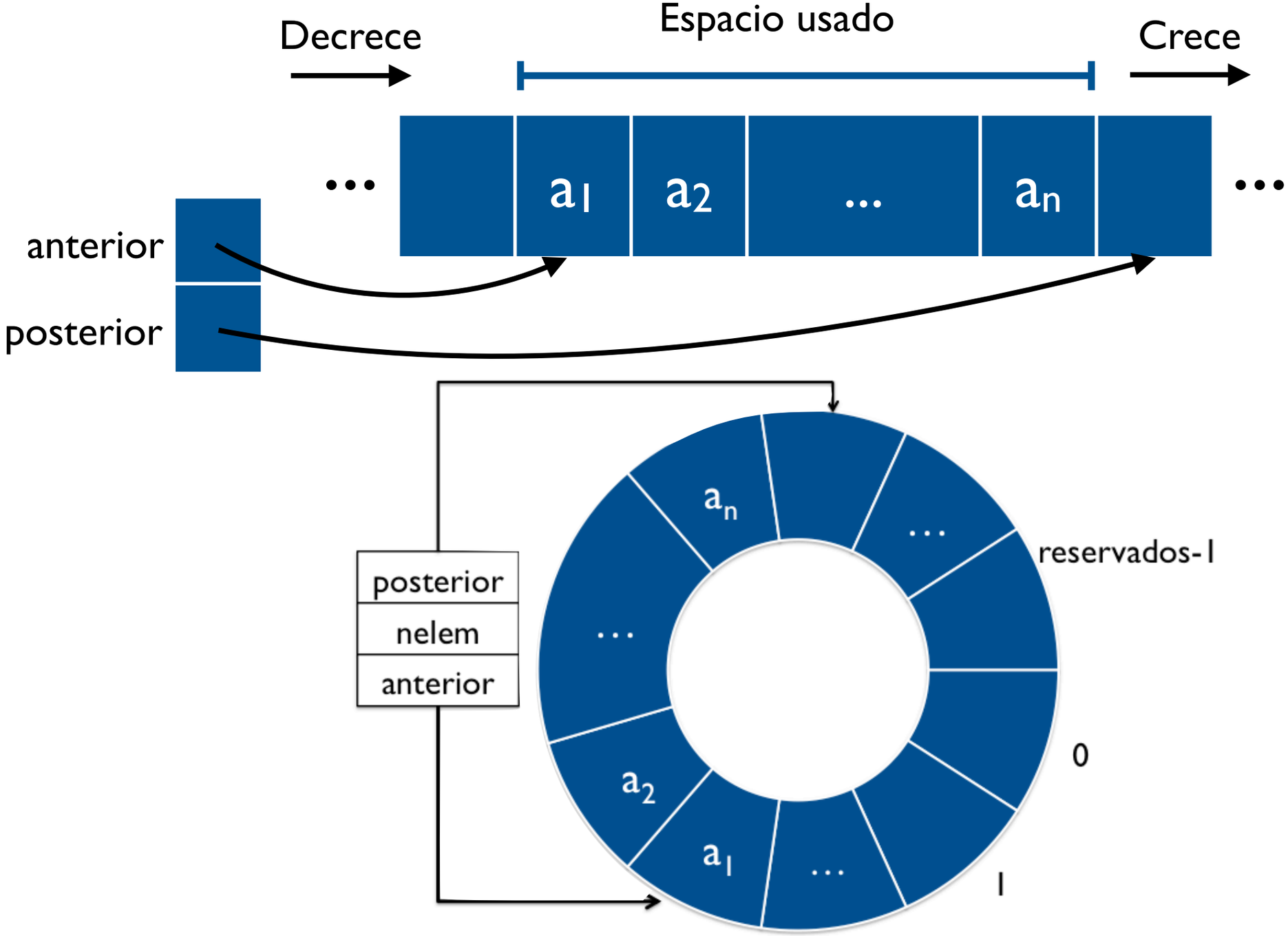
Almacenamos la secuencia de valores en un vector



- El fondo de la cola está en la posición 0
- El número de elementos varía. Debemos almacenarlo
- Si insertamos elementos, el vector puede agotarse (tiene una capacidad limitada). Podemos resolverlo con memoria dinámica
- Problema: no se puede garantizar O(1) en inserciones y borrados

Colas. Implementación con vectores circulares

- Almacenamos la secuencia de valores en un vector



Cola.h

```
#ifndef __COLA_H__
#define __COLA_H__

typedef char Tbase;

class Cola{
private:
  Tbase * datos;
  int reservados;
  int nelem;
  int anterior, posterior;
public:
  Cola();
  Cola(const Cola& c);
  ~Cola();
  Cola& operator=(const Cola & c);
  bool vacia() const;
  void poner(const Tbase & valor);
  void quitar();
  Tbase frente() const;
private:
  void reservar(const int n);
  void liberar();
  void copiar(const Cola& c);
  void redimensionar(const int n);
};
#endif // __COLA_H__
```

Cola.cpp

```
#include <cassert>
#include "Cola.hpp"

Cola::Cola(){
  reservar(10);
  anterior = posterior = nelem = 0;
}

Cola::Cola(const Cola& c){
  reservar(c.reservados);
  copiar(c);
}

Cola& Cola::operator=(const Cola& c){
  if(this!=&c){
    liberar();
    reservar(c.reservados);
    copiar(c);
  }
  return(*this);
}

Cola::~Cola(){
  liberar();
}
```

Cola.cpp

```
void Cola::poner(const Tbase & valor){
  if(nelem==reservados)
    redimensionar(2*reservados);
  datos[posterior] = valor;
  posterior = (posterior+1)%reservados;
  nelem++;
}

void Cola::quitar(){
  assert(!vacia());
  anterior = (anterior+1)%reservados;
  nelem--;
  if (nelem< reservados/4)
    redimensionar(reservados/2);
}

Tbase Cola::frente() const{
  assert(!vacia());
  return datos[anterior];
}

bool Cola::vacia() const{
  return (nelem == 0);
}
```

Cola.cpp

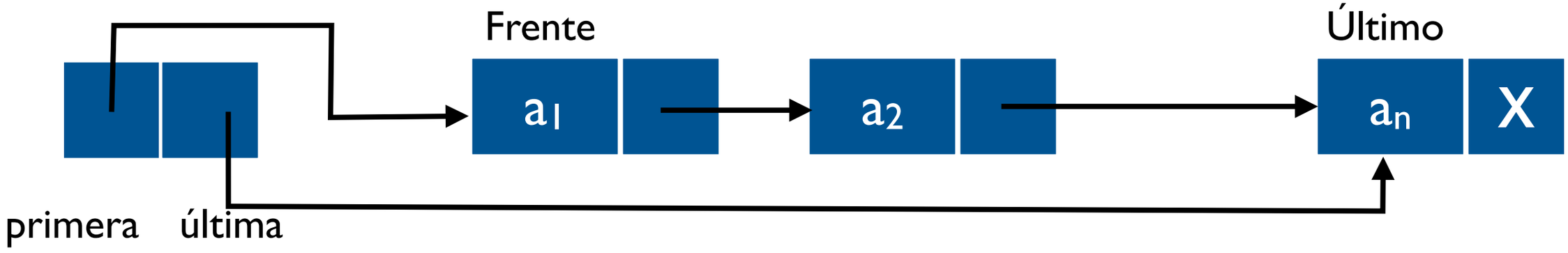
```
void Cola::reservar(const int n){
  assert(n>0);
  reservados = n;
  datos = new Tbase[n];
}
void Cola::liberar(){
  delete[] datos;
  datos = 0;
  anterior = posterior = nelem = reservados = 0;
}
void Cola::copiar(const Cola &c){
  for (int i= c.anterior; i!=c.posterior; i= (i+1)%reservados)
    datos[i] = c.datos[i];
  anterior = c.anterior;
  posterior = c.posterior;
  nelem = c.nelem;

}
void Cola::redimensionar(const int n){
  assert(n>0 && n>=nelem);
  Tbase* aux = datos;
  int tam_aux = reservados;
  reservar(n);
  for(int i=0; i<nelem; i++)
    datos[i] = aux[(anterior+i)%tam_aux];
  anterior = 0;
  posterior = nelem;
  delete[] aux;
}
```

Ejercicios propuestos:

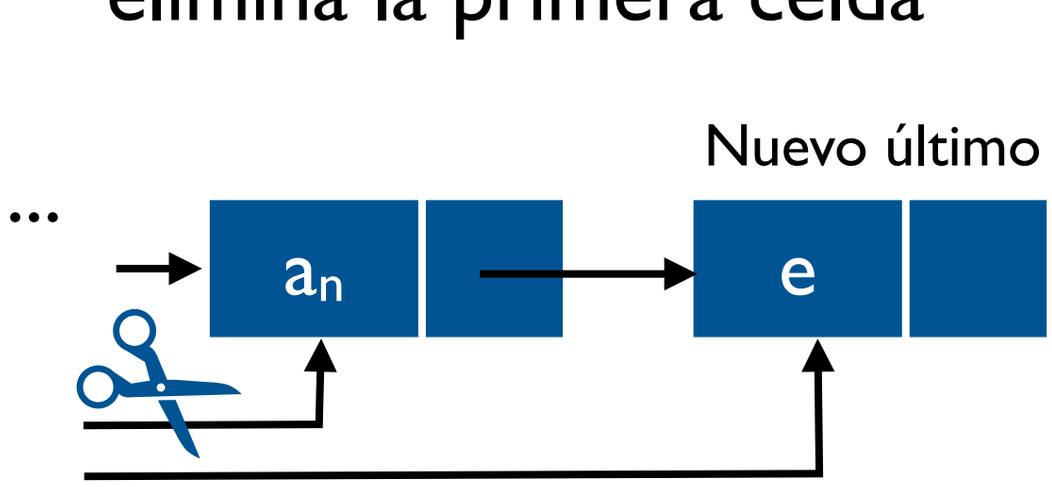
- Desarrollar una clase Cola genérica con templates
- Sobrecargar += y --

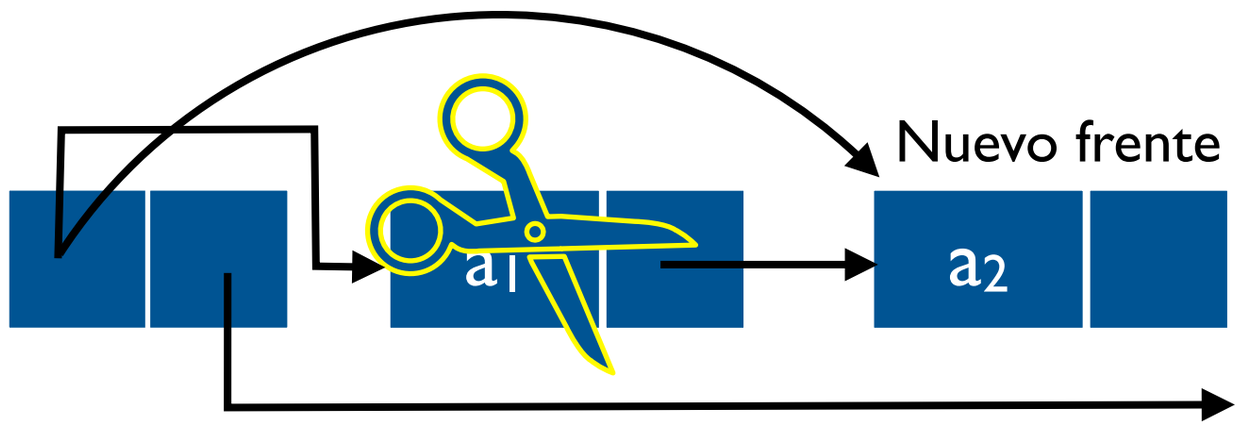
Colas. Implementación con celdas enlazadas

Almacenamos la secuencia de valores en celdas enlazadas



- Una cola vacía tiene dos punteros nulos
- El frente de la cola está en la primera celda (muy eficiente)
- En la inserción se añade una nueva celda al final y en el borrado se elimina la primera celda





Cola.h

```
#ifndef __COLA_H__
#define __COLA_H__

typedef char Tbase;

struct CeldaCola{
  Tbase elemento;
  CeldaCola* sig;
};

class Cola{
private:
  CeldaCola* primera, *ultima;
public:
  Cola();
  Cola(const Cola& c);
  ~Cola();
  Cola& operator=(const Cola& c);
  bool vacia() const;
  void poner(const Tbase & c);
  void quitar();
  Tbase frente() const;
private:
  void copiar(const Cola& c);
  void liberar();
};
#endif // __COLA_H__
```

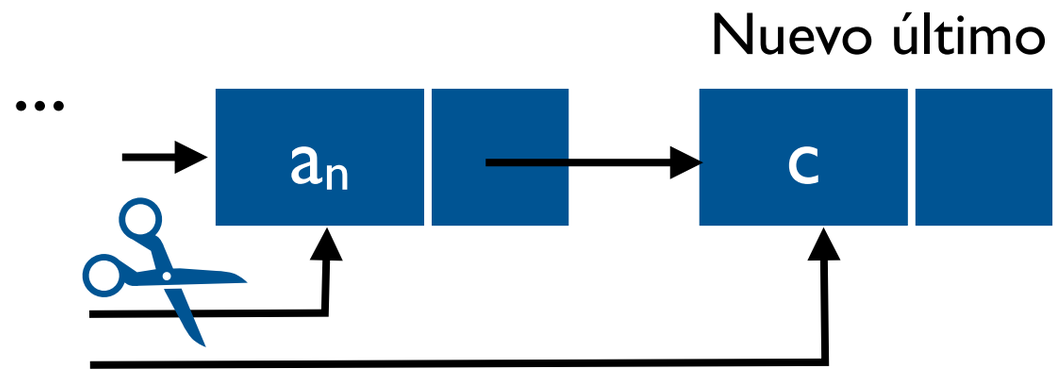
Cola.cpp

```
#include <cassert>
#include "Cola.hpp"

Cola::Cola(){
  primera = ultima = 0;
}

Cola::Cola(const Cola& c){
  copiar(c);
}

Cola::~Cola(){
  liberar();
}

Cola& Cola::operator=(const Cola &c){
  if(this!=&c){
    liberar();
    copiar(c);
  }
  return *this;
}

bool Cola::vacia() const{
  return (primera == 0);
}
```

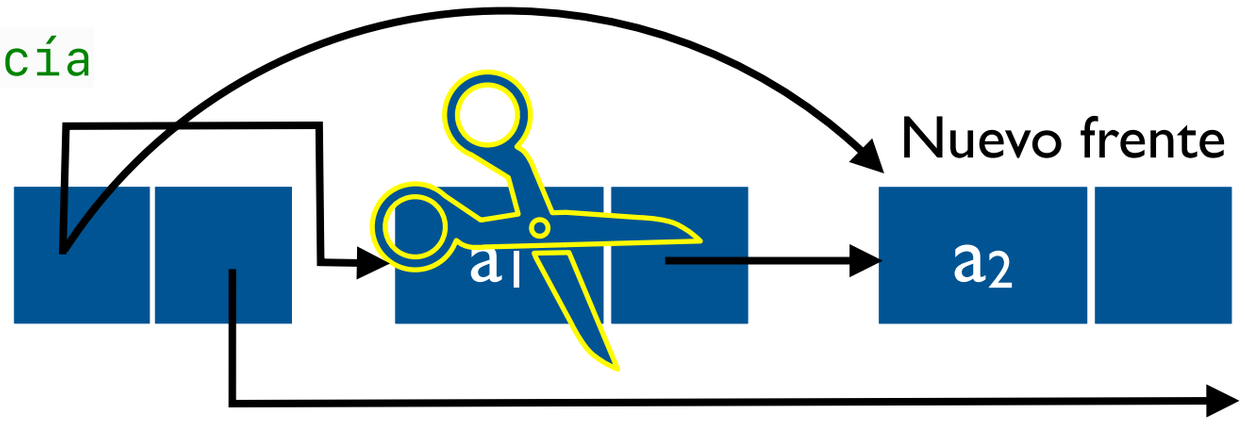
```
Tbase Cola::frente() const{
  //Comprobamos que no está vacía
  assert(primera!=0);
  return primera->elemento;
}
```

Cola.cpp

```
void Cola::poner(const Tbase & c){
  //Creamos una nueva celda
  CeldaCola* nueva = new CeldaCola;
  nueva->elemento = c;
  nueva->sig = 0;
  //Conectamos la celda
  if (primera==0) //Cola vacía
    primera = ultima = nueva;
  else{ //Cola no vacía
    ultima->sig = nueva;
    ultima = nueva;
  }
}
```




```
void Cola::quitar(){
  //Comprobamos que la cola no está vacía
  assert(primera!=0);
  //Hacemos que primera apunte
  //a la siguiente celda
  CeldaCola* aux = primera;
  primera = primera->sig;
  //Borramos la celda
  delete aux;
  //Si la cola queda vacía, tenemos que ajustar última
  if (primera==0)
    ultima = 0;
}
```



Cola.cpp

```
void Cola::copiar(const Cola& c){
  if (c.primera == 0) //Si la cola está vacía
    primera = ultima = 0;
  else{ //Caso general. No está vacía
    //Creamos la primera celda
    primera = new CeldaCola;
    primera->elemento = c.primera->elemento;
    ultima = primera;
    //Recorremos y copiamos el resto de la cola
    CeldaCola* orig = c.primera;
    while(orig->sig != 0){
      orig = orig->sig;
      ultima->sig = new CeldaCola;
      ultima = ultima->sig;
      ultima->elemento = orig->elemento;
    }
    ultima->sig = 0;
  }
}

void Cola::liberar(){
  CeldaCola* aux;
  while(primera!=0){
    aux = primera;
    primera = primera->sig;
    delete aux;
  }
  ultima = 0;
}
```

TDA Cola (Queue)

Uso de una cola
STL

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

int main() {
  stack<char> p;
  queue<char> c;
  char dato;
  cout << "Escriba una frase" <<endl;
  while((dato=cin.get()) !='\n')
    if (dato != ' '){
      p.push(dato);
      c.push(dato);
    }
  bool palindromo = true;
  while(!p.empty() && palindromo){
    if(c.front() != p.top())
      palindromo = false;
    p.pop();
    c.pop();
  }
  cout << "La frase “ << (palindromo ? "es" : "no es")
       << " un palíndromo" << endl;

  return 0;
}
```

ESTRUCTURAS DE DATOS LINEALES

LISTAS

Joaquín Fernández-Valdivia
Javier Abad
Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Granada

DECSAI

Listas

- Una **lista** es una estructura de datos lineal que contiene una secuencia de elementos, diseñada para realizar inserciones, borrados y accesos en cualquier posición
- La representaremos como $<a_1, a_2, \ldots, a_n>$
- Operaciones básicas:
  - Set: modifica el elemento de una posición
  - Get: devuelve el elemento de una posición
  - Borrar: elimina el elemento de una posición
  - Insertar: inserta un elemento en una posición
  - Num_elementos: devuelve el número de elementos de la lista
- En una lista con n elementos consideraremos n+1 posiciones, incluyendo *la siguiente a la última*, que llamaremos **fin de la lista**

Listas. Primera aproximación

Esquema de la interfaz

```
#ifndef __LISTA_H__
#define __LISTA_H__

typedef char Tbase;

class Lista{
private:
  ...     //La implementación que se elija
public:
  Lista();
  Lista(const Lista& l);
  ~Lista();
  Lista& operator=(const Lista& l);

  Tbase get(int pos) const;
  void set(int pos, Tbase e);
  void insertar(int pos, Tbase e);
  void borrar(int pos);
  int num_elementos() const;

};

#endif // __LISTA_H__
```

Listas. Posibles implementaciones

- **Vectores**. A priori sencilla: las posiciones que se pasan a los métodos son enteras y se traducen directamente en índices del vector. Inserciones y borrados ineficientes (orden lineal)

- **Celdas enlazadas**. Parece más eficiente: inserciones y borrados no desplazan elementos. Los métodos set, get, insertar y borrar tienen orden lineal. El problema son las posiciones enteras

- **Conclusión**: la implementación de las posiciones debe variar en función de la implementación de la lista 😣😣

Listas. Posiciones

- Vamos a crear una abstracción de las posiciones, encapsulando el concepto de posición en una clase.
- Crearemos una clase **Posicion**. Un objeto de la clase representa una posición en la lista.
  - En el caso del vector, se implementa como un entero
  - En el caso de las celdas enlazadas, será un puntero
- Observaciones:
  - Para una lista de tamaño n, habrá n+1 posiciones posibles
  - El movimiento entre posiciones se hace una a una
  - La comparación entre posiciones se limita a igualdad y desigualdad (no existe el concepto de anterior o posterior)

Listas. Clases Posicion y Lista

Esquema de la interfaz

```
#ifndef __LISTA_H__
#define __LISTA_H__

typedef char Tbase;

class Posicion{
private:
  ...     //La implementación que se elija

public:
  Posicion();
  Posicion(const Posicion& p);
  ~Posicion();
  Posicion& operator=(const Posicion& p);
  Posicion& operator++();
  Posicion operator++(int);
  Posicion& operator--();
  Posicion operator--(int);
  bool operator==(const Posicion& p) const;
  bool operator!=(const Posicion& p) const;
};
```

Listas. Clases Posicion y Lista

```
class Lista{
private:
  ...      //La implementación que se elija

public:
  Lista();
  Lista(const Lista& l);
  ~Lista();
  Lista& operator=(const Lista& l);

  Tbase get(const Posicion & p) const;
  void set(const Posicion & p, const Tbase & e);
  Posicion insertar(const Posicion & p, const Tbase & e);
  Posicion borrar(const Posicion & p);
  Posicion begin() const;
  Posicion end() const;
};

#endif // __LISTA_H__
```

Esquema de la interfaz

num_elementos no es fundamental

Se modifican

Necesitamos saber dónde empieza y acaba la lista

begin() devuelve la posición del primer elemento
end() devuelve la posición posterior al último elemento (permite añadir al final)
En una lista vacía, begin() coincide con end()

Listas

Uso de una lista

```
#include <iostream>
#include "Lista.hpp"
using namespace std;
int main() {
  char dato;
  Lista l;

  cout << "Escriba una frase" << endl;
  while((dato=cin.get())!='\n')
    l.insertar(l.end(), dato);
  cout << "La frase introducida es:" << endl;
  escribir(l);
  cout << "La frase en minúsculas:" << endl;
  escribir_minuscula(l);
  if(localizar(l,' ')==l.end())
    cout << "La frase no tiene espacios" << endl;
  else{
    cout << "La frase sin espacios:" << endl;
    Lista aux(l);
    borrar_caracter(aux, ' ');
    escribir(aux);
  }
  cout << "La frase al revés: " << endl;
  escribir(al_reves(l));
  cout << (palindromo(l)? "Es " : "No es ") << "un palíndromo" << endl;
  return 0;
}
```

Listas

Uso de una lista

```
int numero_elementos(const Lista& l){
  int n=0;
  for(Posicion p=l.begin(); p!=l.end(); ++p)
    n++;
  return n;
}

void todo_minuscula(Lista& l){
  for(Posicion p=l.begin(); p!=l.end(); ++p)
    l.set(p, tolower(l.get(p)));
}
```

```
void escribir(const Lista& l){
  for(Posicion p=l.begin(); p!=l.end(); ++p)
    cout << l.get(p);
  cout << endl;
}

void escribir_minuscula(const Lista &l){
  Lista l2(l);
  todo_minuscula(l2);
  escribir(l2);
}
```

Listas

Uso de una lista

```
void borrar_caracter(Lista&l, char c){
  Posicion p = l.begin();
  while(p != l.end())
    if(l.get(p) == c)
      p = l.borrar(p);
    else
      ++p;
}

Lista al_reves(const Lista& l){
  Lista aux;
  for(Posicion p=l.begin(); p!=l.end(); ++p)
    aux.insertar(aux.begin(), l.get(p));
  return aux;
}

Posicion localizar(const Lista& l, char c){
  for(Posicion p=l.begin(); p!=l.end(); ++p)
    if(l.get(p)==c)
      return(p);
  return l.end();
}
```

Listas

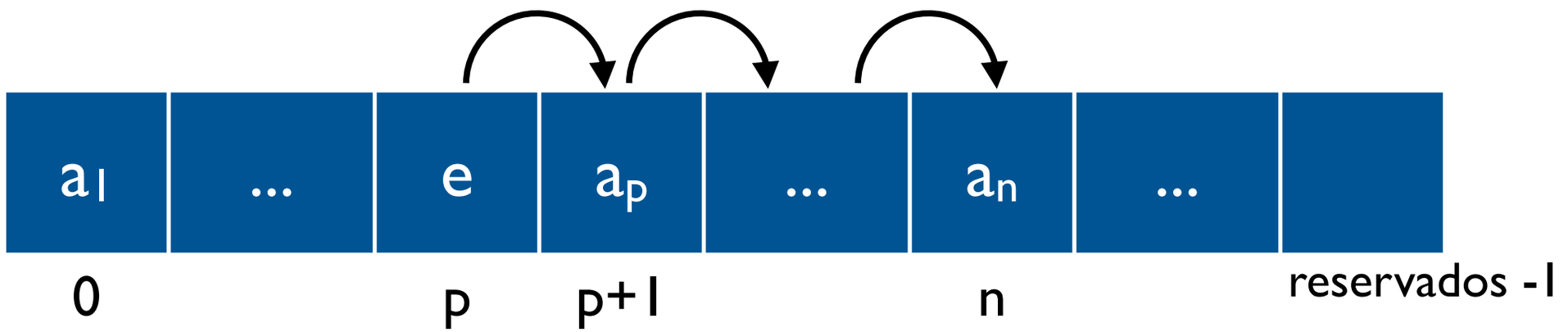
Uso de una lista

```
bool palindromo(const Lista& l){
  bool es_palindromo = true;
  Lista aux(l);
  int n = numero_elementos(l);
  if(n>=2){
    borrar_caracter(aux, ' ');
    todo_minuscula(aux);

    Posicion p1, p2;
    p1 = aux.begin();
    p2 = aux.end();
    p2--;
    for(int i=0; i<n/2 && es_palindromo; i++){
      if(aux.get(p1) != aux.get(p2))
        es_palindromo = false;
      p1++;
      p2--;
    }
  }
  return es_palindromo;
}
```

Listas. Implementación con vectores

- Almacenamos la secuencia de valores en un vector. Las posiciones son enteros

- La posición begin() corresponde al 0
- La posición end() corresponde a n (después del último)
- Las inserciones suponen desplazar elementos a la derecha y los borrados, a la izquierda



Lista.h

```
#ifndef __LISTA_H__
#define __LISTA_H__

#include <stdio.h>

typedef char Tbase;

class Lista;

class Posicion{
private:
  int i;
public:
  Posicion();
  Posicion(const Posicion& p) = default;
  ~Posicion() = default;
  Posicion& operator=(const Posicion& p) = default;
  Posicion& operator++();
  Posicion operator++(int);
  Posicion& operator--();
  Posicion operator--(int);
  bool operator==(const Posicion& p) const;
  bool operator!=(const Posicion& p) const;
  friend class Lista;
};
```

Lista.h

```
class Lista{
private:
  Tbase* datos;
  int nelementos;
  int reservados;
public:
  Lista();
  Lista(const Lista& l);
  ~Lista();
  Lista& operator=(const Lista& l);
  Tbase get(const Posicion & p) const;
  void set(const Posicion & p, const Tbase & e);
  Posicion insertar(const Posicion & p, const Tbase & e);
  Posicion borrar(const Posicion & p);
  Posicion begin() const;
  Posicion end() const;
private:
  void liberar();
  void redimensionar(int n);
  void copiar(const Lista& l);
  void reservar(int n);
};

#endif // __LISTA_H__
```

Lista.cpp

```cpp
#include <cassert>
#include "Lista.hpp"

using namespace std;

//Clase Posicion

Posicion::Posicion(){
  i = 0;
}

//Operador ++ prefijo
Posicion& Posicion::operator++(){
  i++;
  return *this;
}

//Operador ++ postfijo
Posicion Posicion::operator++(int){
  Posicion aux(*this);
  i++;
  return aux;
}

//Operador -- prefijo
Posicion& Posicion::operator--(){
  i--;
  return  *this;
}

//Operador -- postfijo
Posicion Posicion::operator--(int){
  Posicion aux(*this);
  i--;
  return aux;
}

bool Posicion::operator==(const
Posicion& p) const{
  return i==p.i;
}

bool Posicion::operator!=(const
Posicion& p) const{
  return i!=p.i;
}
```

Lista.cpp

```
//Clase Lista

Lista::Lista(){
  nelementos = 0;
  reservar(1);
}

Lista::Lista(const Lista& l){
  reservar(l.nelementos);
  copiar(l);
}
```

```
Lista::~Lista(){
  liberar();
}

Lista& Lista::operator=(const Lista &l){
  if (this != &l){
    liberar();
    reservar(l.nelementos);
    copiar(l);
  }
  return *this;
}
```

Lista.cpp

```
void Lista::set(const Posicion & p, const Tbase &e){
  assert(p.i>=0 && p.i<nelementos);
  datos[p.i] = e;
}

Tbase Lista::get(const Posicion & p) const{
  assert(p.i>=0 && p.i<nelementos);
  return datos[p.i];
}

Posicion Lista::insertar(const Posicion & p, const Tbase & e){
  if(nelementos == reservados)
    redimensionar(reservados*2);
  for(int j=nelementos; j>p.i; j--)
    datos[j] = datos[j-1];
  datos[p.i] = e;
  nelementos++;
  return p;
}
```

Lista.cpp

```
Posicion Lista::borrar(const Posicion & p){
  assert(p!=end());
  for(int j=p.i; j<nelementos-1; j++)
    datos[j] = datos[j+1];
  nelementos--;
  if (nelementos<reservados/4)
    redimensionar(reservados/2);
  return p;
}

Posicion Lista::begin() const{
  Posicion p;
  p.i = 0; //Innecesario
  return p;
}

Posicion Lista::end() const{
  Posicion p;
  p.i = nelementos;
  return p;
}
```

Lista.cpp

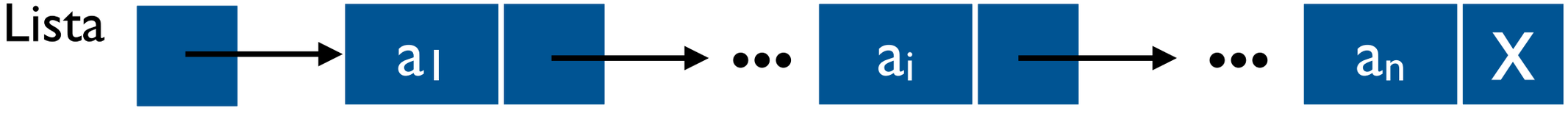
```
//Métodos auxiliares privados
void Lista::liberar(){
  delete []datos;
  reservados = nelementos = 0;
}

void Lista::reservar(int n){
  assert(n>0);
  reservados = n;
  datos = new Tbase[reservados];
}

void Lista::copiar(const Lista& l){
  nelementos = l.nelementos;
  for(int i=0; i<nelementos; i++)
    datos[i] = l.datos[i];
}

void Lista::redimensionar(int n){
  assert(n>0 && n>=nelementos);
  Tbase* aux = datos;
  reservar(n);
  for(int i=0; i<nelementos; i++)
    datos[i] = aux[i];
//  memcpy(datos, aux, nelementos*sizeof(Tbase));
  delete[] aux;
}
```

Ejercicios propuestos:

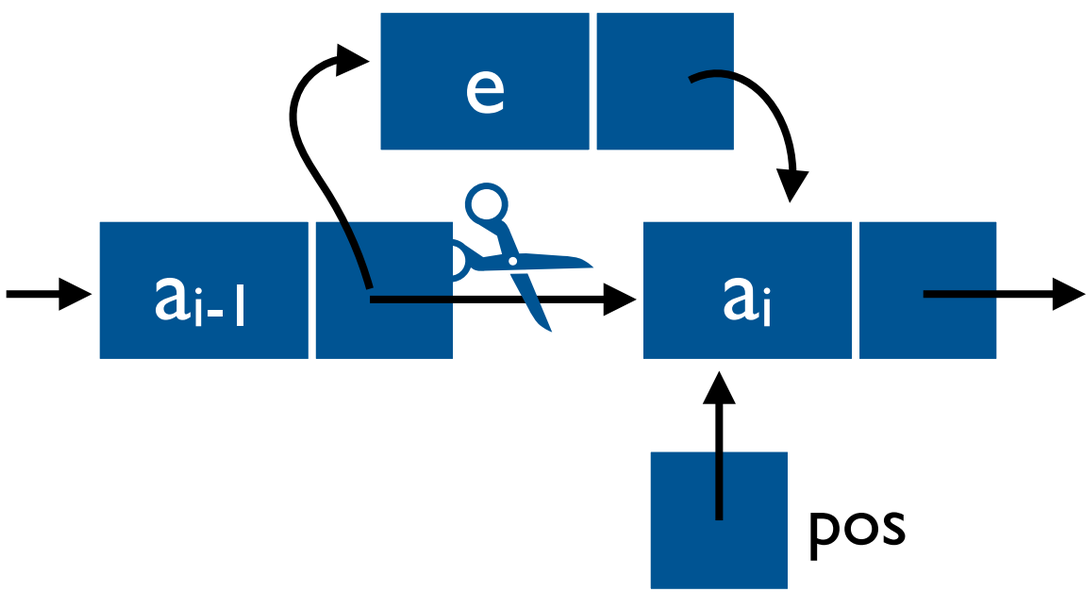
- Desarrollar una clase Lista genérica con templates
- Revisar el programa y las funciones de las transparencias 8-11 para usar listas genéricas

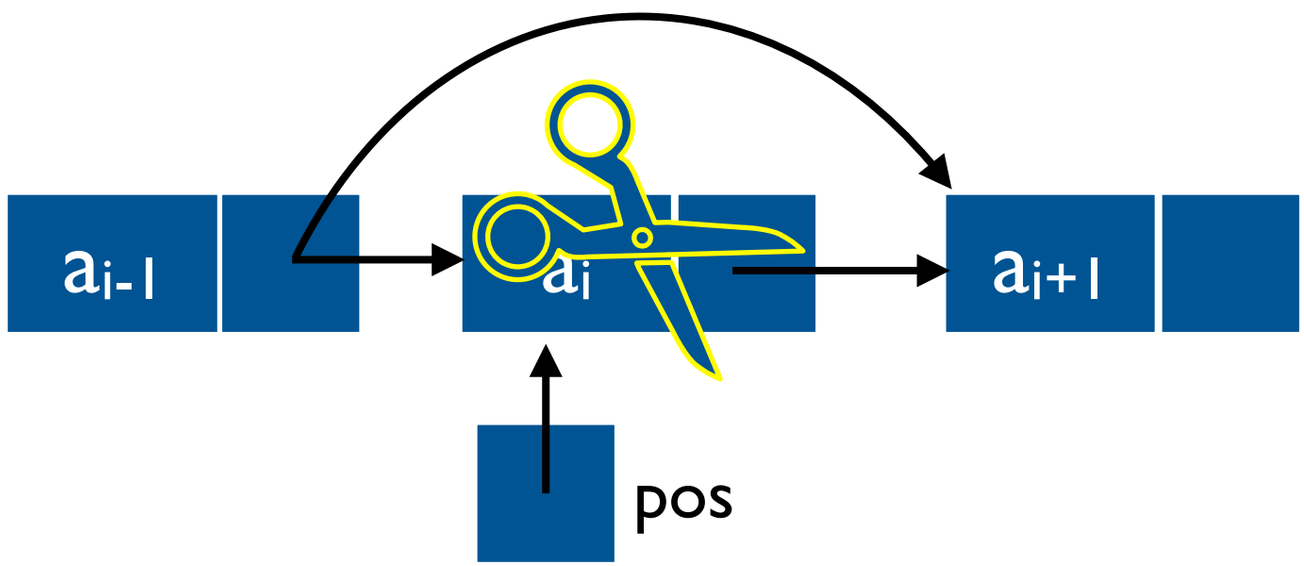
Listas. Celdas enlazadas

Almacenamos la secuencia de valores en celdas enlazadas



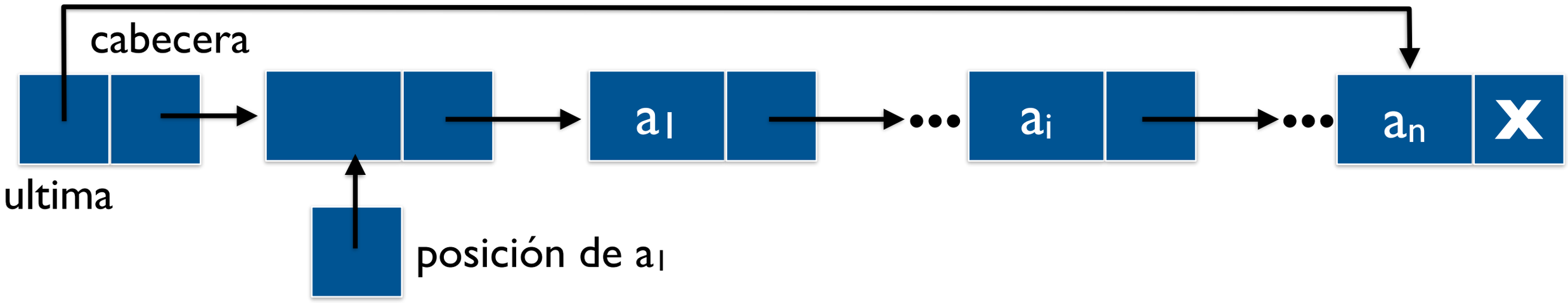
- Una lista es un puntero a la primera celda (si no está vacía)
- Una posición son dos punteros. El segundo (no se muestra) es necesario para algunos operadores
- Inserciones/borrados en la primera posición son casos especiales





Listas. Celdas enlazadas con cabecera

Almacenamos la secuencia de valores en celdas enlazadas



- Una lista es un puntero a la cabecera (si está vacía, sólo tiene una celda)
- Una posición son dos punteros. El segundo (no se muestra) es necesario para algunos operadores
- La posición de un elemento es un puntero a la celda anterior
- Inserciones/borrados la primera posición **NO** son casos especiales

Lista.h

```
#ifndef __LISTA_H__
#define __LISTA_H__

typedef char Tbase;

struct CeldaLista{
  Tbase elemento;
  CeldaLista* siguiente;
};

class Lista;

class Posicion{
private:
  CeldaLista* puntero;
  CeldaLista* primera;
public:
  Posicion();
  Posicion(const Posicion& p) = default;
  ~Posicion() = default;
  Posicion& operator=(const Posicion& p) = default;
  Posicion& operator++();
  Posicion operator++(int);
  Posicion& operator--();
  Posicion operator--(int);
  bool operator==(const Posicion& p) const;
  bool operator!=(const Posicion& p) const;
  friend class Lista;
};
```

Lista.h

```
class Lista{
private:
  CeldaLista* cabecera;
  CeldaLista* ultima;
public:
  Lista();
  Lista(const Lista& l);
  ~Lista();
  Lista& operator=(const Lista& l);

  Tbase get(Posicion p) const;
  void set(Posicion p, Tbase e);
  Posicion insertar(Posicion p, Tbase e);
  Posicion borrar(Posicion p);
  Posicion begin() const;
  Posicion end() const;
};


#endif // __LISTA_H__
```

Lista.cpp

```cpp
#include <cassert>
#include <utility>
#include "Lista.hpp"
using namespace std;

//Clase Posicion

Posicion::Posicion(){
  primera = puntero = 0;
}

//Operador ++ prefijo
Posicion& Posicion::operator++(){
  puntero = puntero->siguiente;
  return *this;
}

//Operador ++ postfijo
Posicion Posicion::operator++(int){
  Posicion p(*this);
  //operator++();
  ++(*this);
  return p;
}
```

Lista.cpp

```
//Operador -- prefijo
Posicion& Posicion::operator--(){
  assert(puntero!=primera);
  CeldaLista* aux = primera;
  while(aux->siguiente!=puntero){
    aux = aux->siguiente;
  }
  puntero = aux;
  return *this;
}

//Operador -- postfijo
Posicion Posicion::operator--(int){
  Posicion p(*this);
  //operator--();
  --(*this);
  return p;
}

bool Posicion::operator==(const Posicion & p) const{
  return(puntero==p.puntero);
}

bool Posicion::operator!=(const Posicion &p) const{
  return(puntero!=p.puntero);
}
```

Lista.cpp

```
//Clase Lista

Lista::Lista(){
  ultima = cabecera = new CeldaLista;
  cabecera->siguiente = 0;
}

Lista::Lista(const Lista& l){
  ultima = cabecera = new CeldaLista;
  CeldaLista* orig = l.cabecera;
  while(orig->siguiente!=0){
    ultima->siguiente = new CeldaLista;
    ultima = ultima->siguiente;
    orig = orig->siguiente;
    ultima->elemento = orig->elemento;
  }
  ultima->siguiente = 0;
}

Lista::~Lista(){
  CeldaLista* aux;
  while(cabecera!=0){
    aux = cabecera;
    cabecera = cabecera->siguiente;
    delete aux;
  }
}
```

Lista.cpp

```
Lista& Lista::operator=(const Lista& l){
  Lista aux(l);
  swap(cabecera, aux.cabecera);
  swap(ultima, aux.ultima);
  return *this;
}

void Lista::set(Posicion p, Tbase e){
  p.puntero->siguiente->elemento = e;
}
```

Función de intercambio de valores de la biblioteca estándar de C++ (incluida en <utility>)

```
Tbase Lista::get(Posicion p) const{
  return p.puntero->siguiente->elemento;
}

Posicion Lista::insertar(Posicion p, Tbase e){
  CeldaLista* nueva = new CeldaLista;
  nueva->elemento = e;
  nueva->siguiente = p.puntero->siguiente;
  p.puntero->siguiente = nueva;
  if(p.puntero == ultima)
    ultima = nueva;
  return p;
}
```

Lista.cpp

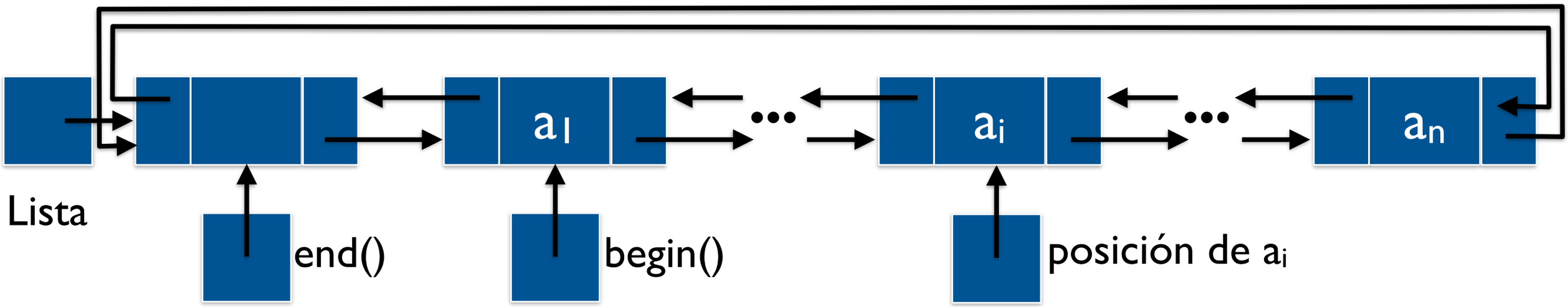
```
Posicion Lista::borrar(Posicion p){
  assert(p!=end());
  CeldaLista* aux = p.puntero->siguiente;
  p.puntero->siguiente = aux->siguiente;
  if(aux==ultima)
    ultima = p.puntero;
  delete aux;
  return p;
}

Posicion Lista::begin()const{
  Posicion p;
  p.puntero = p.primera = cabecera;
  return p;
}

Posicion Lista::end() const{
  Posicion p;
  p.puntero = ultima;
  p.primera = cabecera;
  return p;
}
```

Ejercicio propuesto:

- Desarrollar una clase Lista genérica con templates

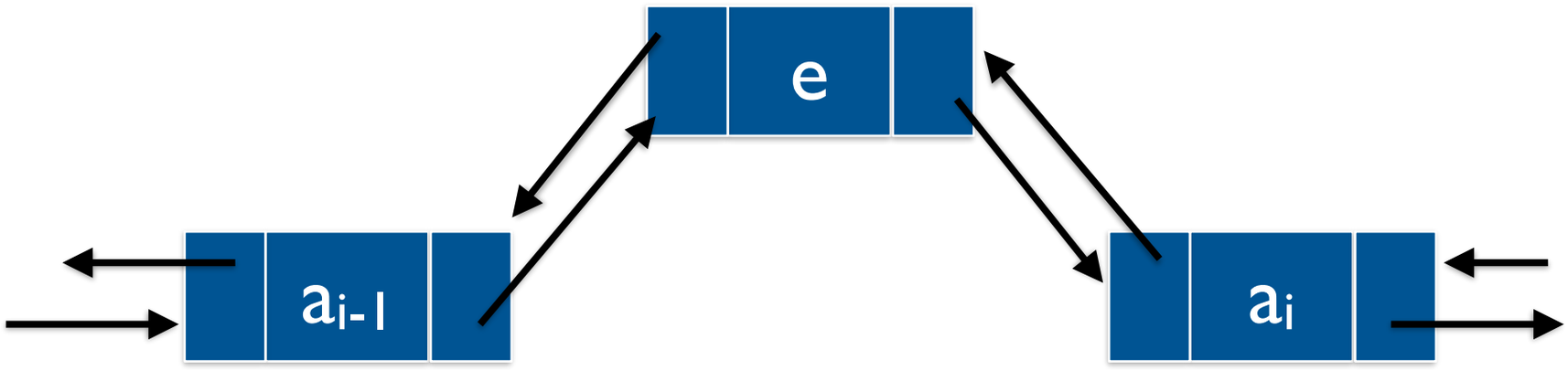
Listas. Celdas doblemente enlazadas circulares

Almacenamos la secuencia de valores en celdas doblemente enlazadas



- Una lista es un puntero a la cabecera (si está vacía, sólo tiene una celda)
- Una posición es un único puntero a la celda
- Inserciones/borrados son independientes de la posición

Listas. Celdas doblemente enlazadas circulares



Lista.h

```
#ifndef __LISTA_H__
#define __LISTA_H__

typedef char Tbase;

struct CeldaLista{
  Tbase elemento;
  CeldaLista* anterior;
  CeldaLista* siguiente;
};

class Lista;
```

```
class Posicion{
private:
  CeldaLista* puntero;
public:
  Posicion();
  Posicion(const Posicion& p) = default;
  ~Posicion() = default;
  Posicion& operator=(const Posicion& p) = default;
  Posicion& operator++();
  Posicion operator++(int);
  Posicion& operator--();
  Posicion operator--(int);
  bool operator==(const Posicion& p) const;
  bool operator!=(const Posicion& p) const;
  friend class Lista;
};
```

Lista.h

```
class Lista{
private:
  CeldaLista* cabecera;
public:
  Lista();
  Lista(const Lista& l);
  ~Lista();
  Lista& operator=(const Lista& l);
  void set(Posicion p, Tbase e);
  Tbase get(Posicion p) const;
  Posicion insertar(Posicion p, Tbase e);
  Posicion borrar(Posicion p);
  Posicion begin() const;
  Posicion end() const;
};

#endif //__LISTA_H__
```

Lista.cpp

```cpp
#include <cassert>
#include "util.hpp"
#include "Lista.hpp"

//Clase Posicion

Posicion::Posicion(){
  puntero = 0;
}

//Operador ++ prefijo
Posicion& Posicion::operator++(){
  puntero = puntero->siguiente;
  return *this;
}

//Operador ++ postfijo
Posicion Posicion::operator++(int){
  Posicion p(*this);
  ++(*this);
  return p;
}

//Operador -- prefijo
Posicion& Posicion::operator--(){
  puntero = puntero->anterior;
  return *this;
}

//Operador -- postfijo
Posicion Posicion::operator--(int){
  Posicion p(*this);
  --(*this);
  return p;
}

bool Posicion::operator==(const
Posicion& p) const{
  return (puntero==p.puntero);
}

bool Posicion::operator!=(const
Posicion& p) const{
  return (puntero!=p.puntero);
}
```

Lista.cpp

```
Lista::Lista(){
  cabecera = new CeldaLista;       //Creamos la cabecera
  cabecera->siguiente = cabecera; //Ajustamos punteros
  cabecera->anterior = cabecera;
}

Lista::Lista(const Lista& l){
  cabecera = new CeldaLista;       //Creamos la celda cabecera
  cabecera->siguiente = cabecera;
  cabecera->anterior = cabecera;
  CeldaLista* p = l.cabecera->siguiente; //Recorremos la lista y copiamos
  while(p!=l.cabecera){                  //Hasta "dar la vuelta completa"
    CeldaLista* q = new CeldaLista;      //Creamos una nueva celda
    q->elemento = p->elemento;           //Copiamos la información
    q->anterior = cabecera->anterior;    //Ajustamos punteros
    cabecera->anterior->siguiente = q;
    cabecera->anterior = q;
    q->siguiente = cabecera;
    p = p->siguiente;                    //Avanzamos en l
  }
}

Lista::~Lista(){
  while(begin()!=end())                  //Mientras no esté vacía
    borrar(begin());                     //Borramos la primera celda
  delete cabecera;                       //Borramos la cabecera
}
```

Lista.cpp

```
Lista& Lista::operator=(const Lista &l){
  Lista aux(l);                                  //Usamos constructor de copia
  intercambiar(this->cabecera, aux.cabecera); //Intercambiamos punteros
  return *this;
  //Al salir se destruye aux, que tiene el antiguo contenido de *this
}

void Lista::set(Posicion p, Tbase e){
  p.puntero->elemento = e;
}

Tbase Lista::get(Posicion p) const{
  return p.puntero->elemento;
}

Posicion Lista::insertar(Posicion p, Tbase e){
  CeldaLista* q = new CeldaLista;     //Creamos la celda
  q->elemento = e;                    //Almacenamos la información
  q->anterior = p.puntero->anterior; //Ajustamos punteros
  q->siguiente = p.puntero;
  p.puntero->anterior = q;
  q->anterior->siguiente = q;
  p.puntero = q;
  return p;
}
```

Lista.cpp

```
Posicion Lista::borrar(Posicion p){
  assert(p!=end());
  CeldaLista* q = p.puntero;
  q->anterior->siguiente = q->siguiente;
  q->siguiente->anterior = q->anterior;
  p.puntero = q->siguiente;
  delete q;
  return p;
}

Posicion Lista::begin() const{
  Posicion p;
  p.puntero = cabecera->siguiente;
  return p;
}

Posicion Lista::end() const{
  Posicion p;
  p.puntero = cabecera;
  return p;
}
```

Ejercicio propuesto:

- Desarrollar una clase Lista genérica con templates

Listas

Uso de una lista
STL

```
#include <iostream>
#include <list>
using namespace std;
int main() {
  char dato;
  list<char> l, aux;
  cout << "Escriba una frase" << endl;
  while((dato=cin.get())!='\n')
    l.insert(l.end(), dato); //l.emplace_back(dato);
  cout << "La frase introducida es:" << endl;
  cout << l;
  cout << "La frase en minúsculas:" << endl;
  escribir_minuscula(l);
  if(localizar(l,' ')==l.end())
    cout << "La frase no tiene espacios" << endl;
  else{
    cout << "La frase sin espacios:" << endl;
    aux = l;
    aux.remove(' ');
    cout << aux;
  }
  cout << "La frase al revés: " << endl;
  aux = l;
  aux.reverse();
  cout << aux;
  cout << (palindromo(l) ? "Es " : "No es ") << "un palíndromo" << endl;
 return 0;
}
```

Listas

Uso de una lista
STL

```
void todo_minuscula(list<char>& l){
  list<char>::iterator p;
  for(p=l.begin(); p!=l.end(); p++)
    *p = tolower(*p);
}

ostream& operator<<(ostream & flujo, const list<char>& l){
  list<char>::const_iterator p;
  for(p=l.cbegin(); p!=l.cend(); p++)
    flujo << *p;
  flujo << endl;
  return flujo;
}

void escribir_minuscula(list<char> l){
  todo_minuscula(l);
  cout << l;
}

template <class T>
typename list<T>::iterator localizar(list<T> l, const T &c){
  typename list<T>::iterator p;
  for(p=l.begin(); p!=l.end(); p++)
    if(*p==c)
      return(p);
  return l.end();
}
```

Listas

Uso de una lista
STL

```
bool palindromo(const list<char>& l){
  list<char> aux(l);
  int n = l.size();
  if(n<2)
    return true;
  aux.remove(' ');
  todo_minuscula(aux);

  list<char>::const_iterator p1, p2;
  p1 = aux.begin();
  p2 = aux.end();
  --p2;
  for(int i=0; i<n/2; i++){
    if(*p1 != *p2)
      return false;
    ++p1;
    --p2;
  }
  return true;
}
```

Listas. Ejercicios propuestos

- Ampliar la clase lista para que ofrezca las operaciones que ofrece la clase list de la STL:

```
Lista(const Posicion inicio, const Posicion final);
void clear();
int size();
void push_front(const Tbase & dato);
void push_back(const Tbase & dato);
void pop_front();
void pop_back();
Tbase & front();
const Tbase & front() const;
Tbase & back();
const Tbase & back() const;
void swap(Lista & l);
```

tanto en su implementación con vectores como en la de celdas doblemente enlazadas. Lo ideal sería hacerlo sobre las versiones genéricas (con templates) de ambas implementaciones.

Listas. Ejercicios propuestos

- Desarrollar iteradores para la implementación de la clase lista basada en celdas doblemente enlazadas, de forma que podamos usarlos como en la STL:

```
template <class T>
void todo_minuscula(Lista<T>& l){
  for(typename Lista<T>::iterator it=l.begin(); it!=l.end(); ++it)
    //l.set(it, tolower(l.get(it)));
    *it = tolower(*it);
}

template <class T>
ostream& operator<<(ostream & flujo, const Lista<T>& l){
  for(typename Lista<T>::const_iterator it=l.cbegin(); it!=l.cend(); ++it)
    //cout << l.get(it);
    cout << *it;
  cout << endl;
  return flujo;
}
```

Listas. Ejercicios propuestos

- Operaciones a implementar en el iterador (tanto en su versión const como en la no const):
  - Constructor por defecto
  - Constructor de copia
  - Operador de asignación (=)
  - Operador de indirección (*)
  - Operadores de comparación (== y !=)
  - Operadores de incremento/decremento (++ y --), tanto prefijos como postigos
  - (En la clase Lista) Métodos begin() y end(), cbegin() y cend()

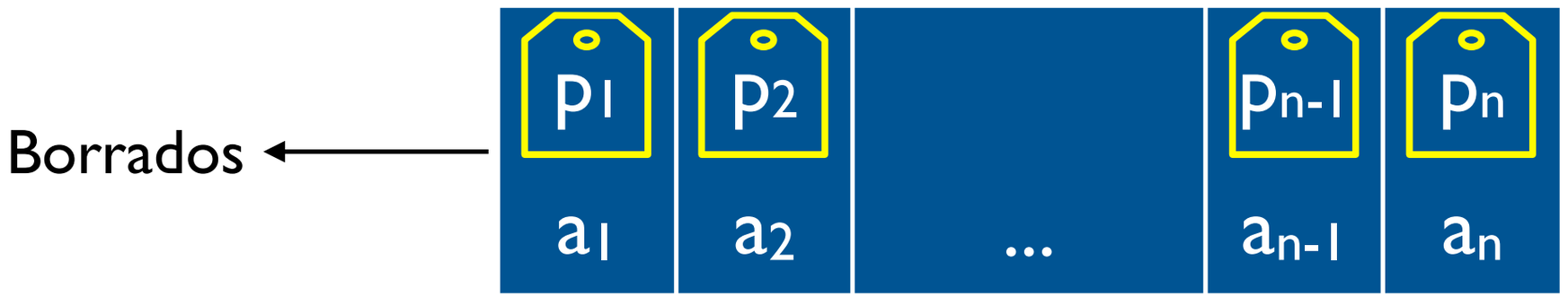
ESTRUCTURAS DE DATOS LINEALES

COLAS CON PRIORIDAD

Joaquín Fernández-Valdivia
Javier Abad
Dpto. de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Granada

Colas con prioridad

- Una cola con prioridad es una estructura de datos lineal diseñada para realizar accesos y borrados en uno de sus extremos(frente). Las inserciones se realizan en cualquier posición, de acuerdo a un valor de prioridad



- **Operaciones básicas:**
  - Frente: devuelve el elemento del frente
  - Prioridad_Frente: devuelve la prioridad asociada al elemento del frente
  - Poner: añade un elemento con una prioridad asociada
  - Quitar: elimina el elemento del frente
  - Vacia: indica si la cola está vacía

Colas con prioridad

Esquema de la interfaz

```
#ifndef __COLA_PRI__
#define __COLA_PRI__

class ColaPri{

private:
  ...      //La implementación que se elija

public:
  ColaPri();
  ColaPri(const ColaPri& c);
  ~ColaPri();
  ColaPri& operator=(const ColaPri& c);

  bool vacia() const;
  Tbase frente() const;
  Tprio prioridad_frente() const;
  void poner(Tbase e, Tprio prio);
  void quitar();
};

#endif /* ColaPri_hpp */
```

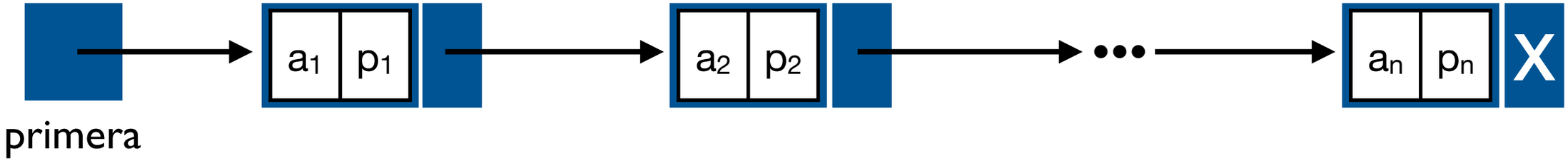
Colas con prioridad

Uso de una cola

```
#include <iostream>
#include "ColaPri.hpp"
using namespace std;
int main(){
  ColaPri c;
  int nota;
  string dni;

  cout << "Escriba una nota: ";
  cin >> nota;
  while(nota >=0 && nota <=10){
    cout << "Escriba un dni: ";
    cin >> dni;
    c.poner(dni, nota);
    cout << "Escriba una nota: ";
    cin >> nota;
  }
  cout << "DNIs ordenados por nota:" << endl;
  while(!c.vacia()){
    cout << "DNI: " << c.frente() << " Nota: "
         << c.prioridad_frente() << endl;
    c.quitar();
  }
  return 0;
}
```

Colas con prioridad. Celdas enlazadas

Almacenamos la secuencia de parejas en celdas enlazadas



- Una cola vacía contiene un puntero nulo
- El frente de la cola está en la primera celda (muy eficiente)
- Si borramos el frente, eliminamos la primera celda
- En la inserción tenemos que buscar la posición según su prioridad

ColaPri.h

```
#ifndef __COLA_PRI__
#define __COLA_PRI__

#include <string>
using namespace std;
typedef int Tprio;
typedef string Tbase;

struct Pareja{
  Tprio prioridad;
  Tbase elemento;
};

struct CeldaColaPri{
  Pareja dato;
  CeldaColaPri* sig;
};
```

```
class ColaPri{
private:
  CeldaColaPri* primera;
public:
  ColaPri();
  ColaPri(const ColaPri& c);
  ~ColaPri();
  ColaPri& operator=(const ColaPri& c);

  bool vacia() const;
  Tbase frente() const;
  Tprio prioridad_frente() const;
  void poner(Tbase e, Tprio prio);
  void quitar();
};

#endif /* ColaPri_hpp */
```

ColaPri.cpp

```
#include <cassert>
#include <utility>
#include "ColaPri.hpp"

ColaPri::ColaPri(){
  primera = 0;
}

ColaPri::ColaPri(const ColaPri& c){
  if(c.primera==0) //Si está vacía
    primera = 0;
  else{              //Si no está vacía
    primera = new CeldaColaPri;       //Crea la primera celda
    primera->dato = c.primera->dato; //Copia el dato
    CeldaColaPri* src = c.primera;   //Inicializa punteros
    CeldaColaPri* dest = primera;
    while(src->sig!=0){                //Mientras queden celdas
      dest->sig = new CeldaColaPri;  //Crea nueva celda
      src = src->sig;                  //Avanza punteros
      dest = dest->sig;
      dest->dato = src->dato;          //Copia el dato
    }
    dest->sig = 0;                     //Ajusta el puntero de la última
  }
}
```

ColaPri.cpp

```
ColaPri::~ColaPri(){
  CeldaColaPri* aux;
  while(primera != 0){          //Mientras queden celdas
    aux = primera;              //Referencia a la primera celda
    primera = primera->sig;     //Avanza primera
    delete aux;                 //Borra la celda
  }
}

ColaPri& ColaPri::operator=(const ColaPri &c){
  ColaPri colatemp(c);     //Usamos el constructor de copia
  swap(this->primera, colatemp.primera);
  return *this;
  //El destructor libera el contenido de *this
}

bool ColaPri::vacia() const{
  return (primera==0);
}
```

ColaPri.cpp

```
Tbase ColaPri::frente()const{
  assert(primera!=0);
  return (primera->dato.elemento);
}

Tprio ColaPri::prioridad_frente() const{
  assert(primera!=0);
  return(primera->dato.prioridad);
}

void ColaPri::quitar(){
  assert(primera!=0);
  CeldaColaPri* aux = primera;
  primera = primera->sig;
  delete aux;
}
```

ColaPri.cpp

```
void ColaPri::poner(Tbase e, Tprio prio){
  CeldaColaPri* aux = new CeldaColaPri;  //Creamos una nueva celda
  aux->dato.elemento = e;                //Guardamos la información
  aux->dato.prioridad = prio;
  aux->sig = 0;
  if (primera==0)                        //Si la cola está vacía
    primera = aux;
  else if(primera->dato.prioridad<prio){ //Si no está vacía y tiene
                                         //prioridad máxima
    aux->sig = primera;                  //La insertamos la primera
    primera = aux;
  }
  else{                                  //Caso general
    CeldaColaPri* p = primera;
    while(p->sig!=0){                    //Avanza por las celdas
      if(p->sig->dato.prioridad<prio){
        aux->sig = p->sig;
        p->sig = aux;
        return;
      }
      else p = p->sig;
    }
    p->sig = aux;
  }
}
```

Colas con prioridad

Uso de una cola
STL

```
#include <iostream>
#include <queue>
using namespace std;
int main(){
  priority_queue<Pareja> c;
  Pareja p;
  cout << "Escriba una nota: ";
  cin >> p.nota;
  while(p.nota >=0 && p.nota <=10){
    cout << "Escriba un dni: ";
    cin >> p.dni;
    c.push(p);
    cout << "Escriba una nota: ";
    cin >> p.nota;
  }
  cout << "DNIs ordenados por nota:" << endl;
  while(!c.empty()){
    p = c.top();
    cout << "DNI: " << c.top().dni << " Nota: "
    << c.top().nota << endl;
    c.pop();
  }
  return 0;
}
```

```
struct Pareja{
  int nota;
  string dni;
  bool operator<(const struct Pareja & otra) const{
    return (this->nota < otra.nota);
  }
};
```

Colas con prioridad

Uso de una cola
STL

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

int main(){
  priority_queue<pair<int, string>> c;
  pair<int, string> p;

  cout << "Escriba una nota: ";
  cin >> p.first;
  while(p.first >=0 && p.first <=10){
    cout << "Escriba un dni: ";
    cin >> p.second;
    c.push(p);
    cout << "Escriba una nota: ";
    cin >> p.first;
  }
  cout << "DNIs ordenados por nota:" << endl;
  while(!c.empty()){
    p = c.top();
    cout << "DNI: " << c.top().second << " Nota: "
    << c.top().first << endl;
    c.pop();
  }
  return 0;
}
```

Ejercicio propuesto

- Desarrollar una clase cola con prioridad genérica usando templates
- Podríamos pensar en desarrollar la clase patrón usando dos parámetros, uno para el tipo base y otro para la prioridad
- Sin embargo, el enfoque más cómodo y versátil, tanto para el desarrollador como para el usuario de la clase, es seguir el enfoque de la STL: dejar en manos del usuario de la clase la definición del tipo base, al que sólo se le exige que tenga definido el operador <
- De esta forma, podemos usar la cola para almacenar valores de cualquier tipo simple (enteros, caracteres…), parejas valor-prioridad (como en el ejemplo anterior) o cualquier tipo/clase más complejo que tenga implementado el operador <