Análisis de Algoritmos y Estructuras de Datos

Tema 7: Tipo Abstracto de Datos Lista

Mª Teresa García Horcajadas José Fidel Argudo Argudo
Antonio García Domínguez Francisco Palomo Lozano

UCA
Universidad de Cádiz

Versión 2.0

Índice

Definición de Lista

Lista

Secuencia de elementos del mismo tipo, $(a_1, a_2, \ldots, a_n)$, cuya longitud, $n \geqslant 0$, es el número de elementos que contiene. Si $n = 0$, es decir, si la lista no tiene elementos, se denomina lista vacía.

Posición de un elemento

- Los elementos están ordenados linealmente según la posición que ocupa cada uno de ellos dentro de la lista.
- Todos los elementos, salvo el primero, tienen un único predecesor y todos, excepto el último, tienen un único sucesor.

Operaciones

Es posible acceder, insertar y suprimir elementos en cualquier posición de una lista.

Especificación del TAD *Lista*

Definición:

Una lista es una secuencia de elementos de un tipo determinado

$$L = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$$

cuya longitud es $n \geqslant 0$. Si $n = 0$, entonces es una lista vacía.

Posición Lugar que ocupa un elemento en la lista.
Los elementos están ordenados de forma lineal según las posiciones que ocupan. Todos los elementos, salvo el primero, tienen un único predecesor y todos, excepto el último, tienen un único sucesor.

Posición *fin()* Posición especial que sigue a la del último elemento y que nunca está ocupada por elemento alguno.

Especificación del TAD *Lista*

Operaciones:

Lista();

Postcondiciones: Crea y devuelve una lista vacía.

void insertar(const T& x, posicion p)

Precondiciones: $L = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$
$1 \leqslant p \leqslant n+1$

Postcondiciones: $L = (a_1, \ldots, a_{p-1}, x, a_p, \ldots, a_n)$

void eliminar(posicion p)

Precondiciones: $L = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$
$1 \leqslant p \leqslant n$

Postcondiciones: $L = (a_1, \ldots, a_{p-1}, a_{p+1}, \ldots, a_n)$

Especificación del TAD *Lista*

const T& elemento(posicion p) const

T& elemento(posicion p)

Precondiciones: $L = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$
$1 \leqslant p \leqslant n$

Postcondiciones: Devuelve a_p, el elemento que ocupa la posición p de la lista L.

posicion buscar(const T& x) const

Postcondiciones: Devuelve la posición de la primera ocurrencia de x en la lista. Si x no se encuentra, devuelve la posición *fin()*.

Especificación del TAD *Lista*

posicion siguiente(posicion p) const

Precondiciones: $L = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$
$1 \leqslant p \leqslant n$

Postcondiciones: Devuelve la posición que sigue a p.

posicion anterior(posicion p) const

Precondiciones: $L = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$
$2 \leqslant p \leqslant n + 1$

Postcondiciones: Devuelve la posición que precede a p.

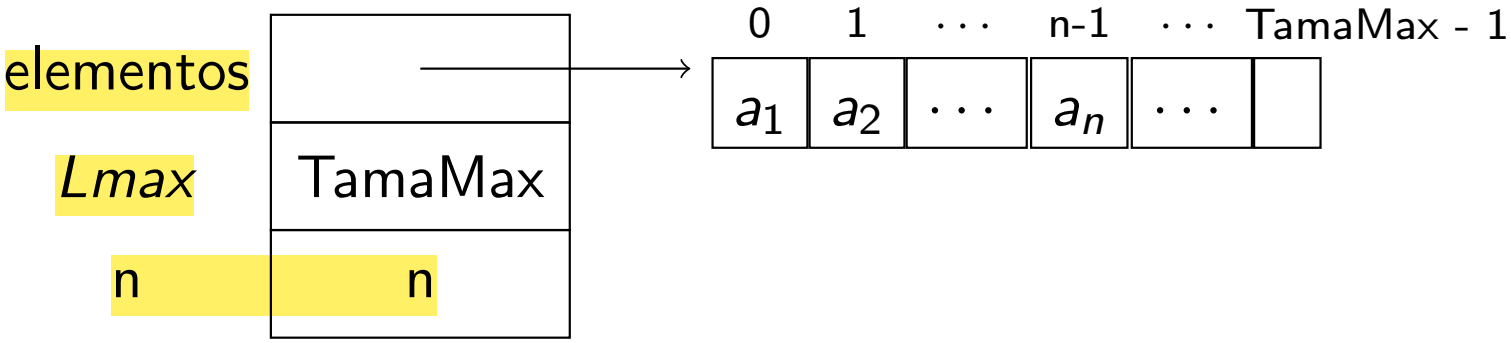
posicion primera() const

Postcondiciones: Devuelve la primera posición de la lista. Si la lista está vacía, devuelve la posición *fin()*.

posicion fin() const

Postcondiciones: Devuelve la última posición de la lista, la siguiente a la del último elemento. Esta posición siempre está vacía, no existe ningún elemento que la ocupe.

Implementación vectorial pseudoestática



Implementación vectorial pseudoestática

```
1  // listavec.h
2  //
3  // clase Lista genérica: vector pseudo-estático (en
4  // memoria dinámica) cuyo tamaño (parámetro de entrada
5  // del constructor) puede ser distinto para cada
6  // objeto de la clase Lista.
7  // Las variables externas de tipo posición, posteriores
8  // a la posición p en la que se realiza una inserción
9  // o eliminación, no cambian, pero sí los elementos
10 // que se encuentran en dichas posiciones.

12 #ifndef LISTA_VEC_H
13 #define LISTA_VEC_H
14 #include <cassert>
```

Implementación vectorial pseudoestática

```
16 template <typename T>
17 class Lista {
18 public:
19    typedef size_t posicion; // Posición de un elemento
20    explicit Lista(size_t TamaMax); // Constructor, req. ctor. T()
21    Lista(const Lista<T>& L); // Ctor. de copia, requiere ctor. T()
22    Lista<T>& operator =(const Lista<T>& L);// Asig, req. ctor. T()
23    void insertar(const T& x, posicion p);
24    void eliminar(posicion p);
25    const T& elemento(posicion p) const;// Lec. elto. en Lista const
26    T& elemento(posicion p); // Lec/Esc elto. en Lista no-const
27    posicion buscar(const T& x) const;// Req. operador == para T
28    posicion siguiente(posicion p) const;
29    posicion anterior(posicion p) const;
30    posicion primera() const;
31    posicion fin() const; // Posición después del último
32    ~Lista(); // Destructor
```

Implementación vectorial pseudoestática

```
33 private:
34    T *elementos; // Vector de elementos
35    size_t Lmax; // Tamaño del vector
36    size_t n; // Longitud de la lista
37 };

39 // clase Lista genérica: vector pseudo-estático.
40 // Una lista de longitud n se almacena en celdas
41 // consecutivas del vector, desde 0 hasta n-1.
42 // La posición de un elemento es el índice de la celda
43 // en que se almacena.
44 //
45 // Implementación de operaciones

47 template <typename T>
48 inline Lista<T>::Lista(size_t TamaMax) :
49    elementos(new T[TamaMax]),
50    Lmax(TamaMax),
51    n(0)
52 {}
```

Implementación vectorial pseudoestática

```
54 template <typename T>
55 Lista<T>::Lista(const Lista<T>& L) :
56    elementos(new T[L.Lmax]),
57    Lmax(L.Lmax),
58    n(L.n)
59 {
60    for (Lista<T>::posicion p = 0; p < n; ++p) // Copiar eltos.
61       elementos[p] = Lis.elementos[p];
62 }
```

Implementación vectorial pseudoestática

```
64 template <typename T>
65 Lista<T>& Lista<T>::operator =(const Lista<T>& L)
66 {
67    if (this != &L) { // Evitar autoasignación
68       // Destruir el vector y crear uno nuevo si es necesario
69       if (Lmax != L.Lmax) {
70          delete[] elementos;
71          Lmax = L.Lmax;
72          elementos = new T[Lmax];
73       }
74       n = L.n;
75       // Copiar elementos
76       for (Lista<T>::posicion p = 0; p < n; ++p)
77          elementos[p] = L.elementos[p];
78    }
79    return *this;
80 }
```

Implementación vectorial pseudoestática

```
82  template <typename T>
83  void Lista<T>::insertar(const T& x, Lista<T>::posicion p)
84  {
85     assert(p >= 0 && p <= n); // Posición válida
86     assert(n < Lmax); // Lista no llena
87     // Desplazar los eltos. en p, p+1,..., n−1, a la siguiente posición
88     for (Lista<T>::posicion q = n; q > p; --q)
89        elementos[q] = elementos[q-1];
90     elementos[p] = x;
91     ++n;
92  }
93  template <typename T>
94  void Lista<T>::eliminar(Lista<T>::posicion p)
95  {
96     assert(p >= 0 && p < n); // Posición válida
97     --n;
98     // Desplazar los eltos. en p+1, p+2,...,n a la posición anterior
99     for (Lista<T>::posicion q = p; q < n; ++q)
100       elementos[q] = elementos[q+1];
101 }
```

Implementación vectorial pseudoestática

```
103 template <typename T> inline
104 const T& Lista<T>::elemento(Lista<T>::posicion p) const
105 {
106    assert(p >= 0 && p < n); // Posición válida
107    return elementos[p];
108 }

110 template <typename T>
111 inline T& Lista<T>::elemento(Lista<T>::posicion p)
112 {
113    assert(p >= 0 && p < n); // Posición válida
114    return elementos[p];
115 }
```

Implementación vectorial pseudoestática

```
117 template <typename T>
118 typename Lista<T>::posicion
119    Lista<T>::buscar(const T& x) const
120 {
121    Lista<T>::posicion q = 0;
122    bool encontrado = false;
123    while (q < n && !encontrado)
124       if (elementos[q] == x)
125          encontrado = true;
126       else ++q;
127    return q;
128 }

130 template <typename T> inline
131 typename Lista<T>::posicion
132    Lista<T>::siguiente(Lista<T>::posicion p) const
133 {
134    assert(p >= 0 && p < n); // Posición válida
135    return p+1;
136 }
```

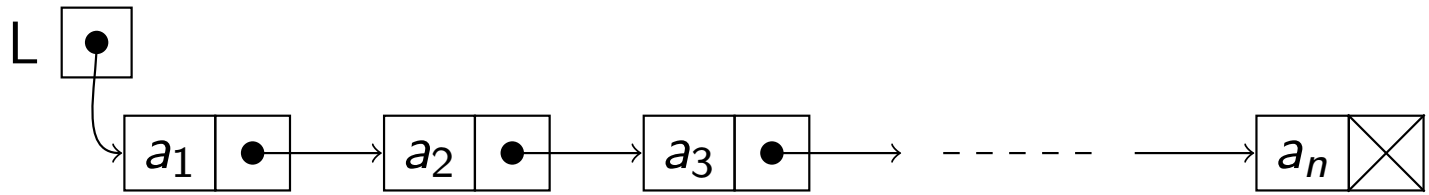
Implementación vectorial pseudoestática

```
138 template <typename T> inline
139 typename Lista<T>::posicion
140    Lista<T>::anterior(Lista<T>::posicion p) const
141 {
142    assert(p > 0 && p <= n); // Posición válida
143    return p-1;
144 }

146 template <typename T>
147 inline typename Lista<T>::posicion Lista<T>::primera() const
148 { return 0; }

150 template <typename T>
151 inline typename Lista<T>::posicion Lista<T>::fin() const
152 { return n; }

154 template <typename T> inline Lista<T>::~Lista()
155 { delete[] elementos; }

157 #endif // LISTA_VEC_H
```

Implementación mediante una estructura enlazada

Estructura dinámica

El tamaño de la estructura de datos varía en tiempo de ejecución con el tamaño de la lista. A cambio se ocupa espacio adicional con los enlaces.



Representación de posiciones

Posición de un elemento Puntero al nodo que lo contiene

Primera posición Puntero al primer nodo de la estructura

Última posición (*fin()*) Puntero almacenado en el último nodo de la estructura, o sea, un puntero nulo.

Implementación mediante una estructura enlazada

```
1  template <typename T> class Lista {
2     struct nodo; // Declaración adelantada privada
3  public:
4     typedef nodo* posicion; // Posición de un elemento
5     Lista(); // Constructor
6     void insertar(const T& x, posicion& p);
7     void eliminar(posicion& p);
8     // ......
9  private:
10    struct nodo {
11        T elto;
12        nodo* sig;
13        nodo(T e, nodo* p = nullptr): elto(e), sig(p) {}
14    };

16    nodo* L; // lista enlazada de nodos
17 };
```

Implementación mediante una estructura enlazada

```
19 template <typename T>
20 inline Lista<T>::Lista() : L(nullptr) {}

21 template <typename T>
22 void Lista<T>::insertar(const T& x, Lista<T>::posicion& p)
23 {
24    nodo* q;

26    if (p == L) // Inserción al principio
27       p = L = new nodo(x, p);
28    else { // Inserción en cualquier otra posición, incluso fin
29       // Recorrer la lista hasta el nodo q anterior a p
30       for (q = L; q->sig != p; q = q->sig);
31       p = q->sig = new nodo(x, p);
32    }
33    // El nuevo nodo con x queda en la posición p
34 }
```

Implementación mediante una estructura enlazada

```
36 template <typename T>
37 void Lista<T>::eliminar(Lista<T>::posicion& p)
38 {
39    nodo* q;

41    assert(p); // p no es fin
42    if (p == L) { // Primera posición
43       L = p->sig;
44       delete p;
45       p = L;
46    }
47    else {
48       // Recorrer la lista hasta el nodo q anterior a p
49       for (q = L; q->sig != p; q = q->sig);
50       q->sig = p->sig;
51       delete p;
52       p = q->sig;
53    }
54    // El nodo siguiente queda en la posición p
55 }
```

Implementación mediante una estructura enlazada

Inserción y eliminación de elementos

1. Los algoritmos de inserción y eliminación son de orden $\Theta(n)$ en el promedio y en el peor caso. Hay que recorrer la lista desde el inicio hasta el nodo anterior a p.
2. En la inserción es posible evitar el recorrido copiando en el nuevo nodo el que se encuentra en la posición p y colocando en este el elemento que se inserta.
3. El recorrido al eliminar se puede evitar copiando en el nodo de la posición p el que le sigue y suprimiendo este.

Inserción en una lista enlazada. Versión 2

```
1  template <typename T>
2  void Lista<T>::insertar(const T& x, Lista<T>::posicion& p)
3  {
4     nodo* q;

6     if (p) { // p no es fin
7        q = new nodo(p->elto, p->sig); // Copiar *p en *q
8        p->elto = x;
9        p->sig = q;
10    }
11    else // Inserción al final
12       if (L == nullptr) // Lista vacía
13          p = L = new nodo(x);
14       else {
15          // Recorrer la lista hasta el último nodo
16          for (q = L; q->sig; q = q->sig);
17          p = q->sig = new nodo(x);
18       }
19 }
```

Eliminación en una lista enlazada. Versión 2

```
21 template <typename T> void Lista<T>::eliminar(posicion& p)
22 {
23    nodo* q;
24    assert(p); // p no es fin
25    if (p->sig) { // *p no es el último
26       q = p->sig;
27       *p = *q;
28       delete q;
29    }
30    else // Eliminar el último
31       if (p == L) { // Primera posición
32          delete p;
33          p = L = nullptr; // fin
34       }
35       else {
36          // Recorrer la lista hasta el penúltimo nodo
37          for (q = L; q->sig != p; q = q->sig);
38          delete p;
39          p = q->sig = nullptr; // fin
40       }
41 }
```

Implementación mediante una estructura enlazada

Inserción y eliminación en una lista enlazada. Versión 2

1. Ahora la inserción y la eliminación son $\Theta(1)$ en el promedio, pero siguen teniendo un peor caso $\Theta(n)$. Hay que recorrer toda la lista para añadir un nuevo nodo al final, así como para eliminar el último.
2. Debemos considerar la copia adicional de un elemento. Si el elemento es grande, el tiempo de recorrido ahorrado puede no compensar el tiempo extra de copia.
3. En definitiva, ambos algoritmos son de orden $\Theta(n)$ en el caso peor y en los demás casos puede que la ganancia de tiempo no sea significativa con la segunda versión.

Implementación mediante una estructura enlazada

Inserción y eliminación de elementos

1. El parámetro posición de estas operaciones se pasa por referencia, porque un nuevo elemento ocupará dicha posición al finalizar.
2. No se cumple totalmente con la especificación del TAD, porque este parámetro se debe pasar por valor.
3. Por ello, el uso del TAD Lista con esta implementación provocará errores que no se producirán con otras implementaciones.

Implementación mediante una estructura enlazada

Errores de compilación

```
1 Lista<int> l;
2 l.insertar(5, l.fin());
3 l.insertar(3, l.primera());
4 l.insertar(4,
5   l.anterior(l.fin()));
6 l.eliminar(l.primera());
```

Correcto

```
1 Lista<int> l;
2 Lista<int>::posicion p;
3 p = l.fin();
4 l.insertar(5, p);
5 l.insertar(3, p);
6 p = l.anterior(l.fin());
7 l.insertar(4, p);
8 p = l.primera();
9 l.eliminar(p);
```

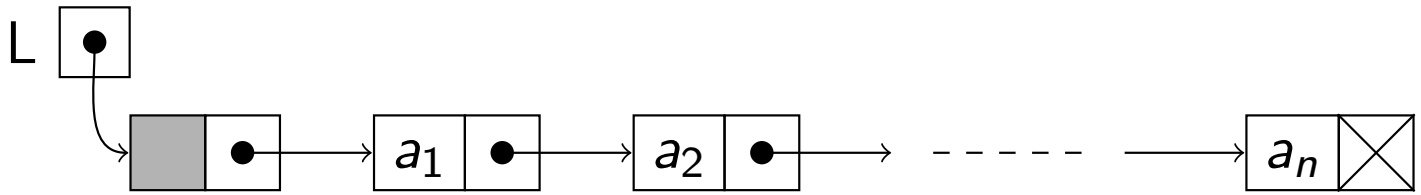
Incumplimiento de la especificación

El código de la izquierda es correcto según la especificación del TAD, sin embargo produce errores de compilación porque no se pueden pasar por referencia a *insertar()* y *eliminar()* las posiciones devueltas por *fin()*, *primera()*, *anterior()*, *siguiente()* o *buscar()*.

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

Modificación de la representación del TAD Lista

Para solventar el incumpliemto de la especificación y la ineficiencia de las inserciones y eliminaciones cabiamos el modo de representar las posiciones.



Representación de posiciones

Posición de un elemento Puntero al nodo anterior

Primera posición Puntero al nodo cabecera

Última posición (*fin()*) Puntero al último nodo de la estructura.

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
1  #ifndef LISTA_ENLA_H
2  #define LISTA_ENLA_H
3  #include <cassert>

5  template <typename T> class Lista {
6     struct nodo; // Declaración adelantada privada
7  public:
8     typedef nodo* posicion; // Posición de un elemento
9     Lista(); // Constructor, requiere ctor. T()
10    Lista(const Lista<T>& Lis); // Ctor. de copia, requiere ctor. T()
11    Lista<T>& operator =(const Lista<T>& Lis); // Asig. de listas
12    void insertar(const T& x, posicion p);
13    void eliminar(posicion p);
14    const T& elemento(posicion p) const;// Lec. elto. en Lista const
15    T& elemento(posicion p); // Lec/Esc elto. en Lista no-const
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
16     posicion buscar(const T& x) const;// Req. operador == para T
17     posicion siguiente(posicion p) const;
18     posicion anterior(posicion p) const;
19     posicion primera() const;
20     posicion fin() const; // Posición después del último
21     ~Lista(); // Destructor
22  private:
23     struct nodo {
24        T elto;
25        nodo* sig;
26        nodo(const T& e, nodo* p = nullptr): elto(e), sig(p) {}
27     };

29     nodo* L; // lista enlazada de nodos

31     void copiar(const Lista<T>& Lis);
32  };
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
34 // Método privado
35 template <typename T>
36 void Lista<T>::copiar(const Lista<T> &Lis)
37 {
38    L = new nodo(T()); // Crear el nodo cabecera
39    nodo* q = L;
40    for (nodo* r = Lis.L->sig; r; r = r->sig) {
41       q->sig = new nodo(r->elto);
42       q = q->sig;
43    }
44 }
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
46 template <typename T>
47 inline Lista<T>::Lista() : L(new nodo(T())) // Crear cabecera
48 {}

50 template <typename T>
51 inline Lista<T>::Lista(const Lista<T>& Lis)
52 {
53    copiar(Lis);
54 }

56 template <typename T>
57 Lista<T>& Lista<T>::operator =(const Lista<T>& Lis)
58 {
59    if (this != &Lis) { // Evitar autoasignación
60       this->~Lista(); // Vaciar la lista actual
61       copiar(Lis);
62    }
63    return *this;
64 }
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
66 template <typename T> inline
67 void Lista<T>::insertar(const T& x, Lista<T>::posicion p)
68 {
69    p->sig = new nodo(x, p->sig);
70    // El nuevo nodo con x queda en la posición p
71 }

73 template <typename T>
74 inline void Lista<T>::eliminar(Lista<T>::posicion p)
75 {
76    assert(p->sig); // p no es fin
77    nodo* q = p->sig;
78    p->sig = q->sig;
79    delete q;
80    // El nodo siguiente queda en la posición p
81 }
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
83 template <typename T> inline
84 const T& Lista<T>::elemento(Lista<T>::posicion p) const
85 {
86    assert(p->sig); // p no es fin
87    return p->sig->elto;
88 }

90 template <typename T>
91 inline T& Lista<T>::elemento(Lista<T>::posicion p)
92 {
93    assert(p->sig); // p no es fin
94    return p->sig->elto;
95 }
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
97  template <typename T>
98  typename Lista<T>::posicion
99     Lista<T>::buscar(const T& x) const
100 {
101    nodo* q = L;
102    bool encontrado = false;
103    while (q->sig && !encontrado)
104       if (q->sig->elto == x)
105          encontrado = true;
106       else q = q->sig;
107    return q;
108 }

110 template <typename T> inline
111 typename Lista<T>::posicion
112    Lista<T>::siguiente(Lista<T>::posicion p) const
113 {
114    assert(p->sig); // p no es fin
115    return p->sig;
116 }
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
118 template <typename T>
119 typename Lista<T>::posicion
120    Lista<T>::anterior(Lista<T>::posicion p) const
121 {
122    nodo* q;

124    assert(p != L); // p no es la primera posición
125    for (q = L; q->sig != p; q = q->sig);
126    return q;
127 }

129 template <typename T>
130 inline typename Lista<T>::posicion Lista<T>::primera() const
131 {
132    return L;
133 }
```

Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
135 template <typename T>
136 typename Lista<T>::posicion Lista<T>::fin() const
137 {
138    nodo* p;
139    for (p = L; p->sig; p = p->sig);
140    return p;
141 }

143 // Destructor: destruye el nodo cabecera y vacía la lista
144 template <typename T> Lista<T>::~Lista()
145 {
146    nodo* q;
147    while (L) {
148       q = L->sig;
149       delete L;
150       L = q;
151    }
152 }

154 #endif // LISTA_ENLA_H
```

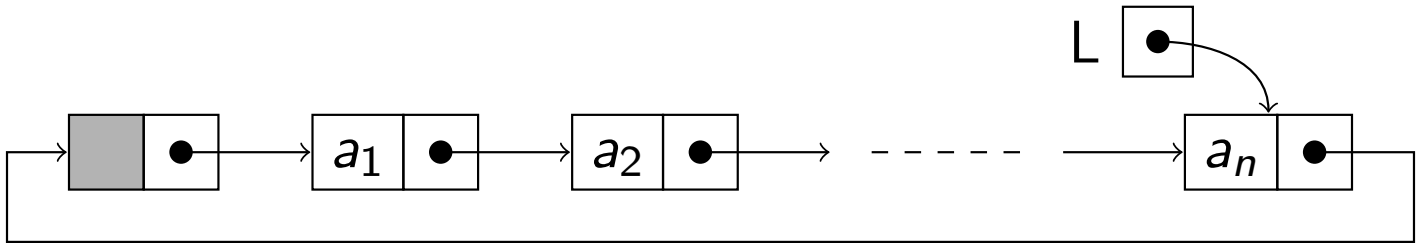
Implementación con una estructura enlazada con cabecera

Eficiencia

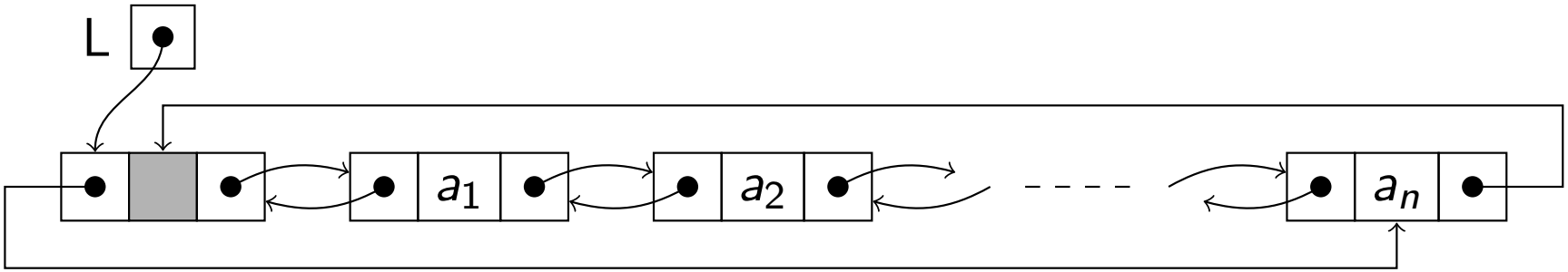
1. Las operaciones *buscar()*, *anterior()* y *fin()* son $\Theta(n)$.
2. El resto de operaciones del TAD son $\Theta(1)$.

Estructura enlazada circular

La operación *fin()* se puede hacer de $\Theta(1)$ sin alterar la eficiencia de las otras operaciones y sin usar espacio adicional, representando una lista mediante una estructura enlazada circular que proporcione acceso directo al último nodo.



Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera



Representación de posiciones

Posición de un elemento Puntero al nodo anterior

Primera posición Puntero al nodo cabecera

Última posición (*fin()*) Puntero al último nodo de la estructura.

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
1  #ifndef LISTA_DOBLE_H
2  #define LISTA_DOBLE_H
3  #include <cassert>

5  template <typename T> class Lista {
6     struct nodo; // Declaración adelantada privada
7  public:
8     typedef nodo* posicion; // Posición de un elemento
9     Lista(); // Constructor, requiere ctor. T()
10    Lista(const Lista<T>& Lis); // Ctor. de copia, req. ctor. T()
11    Lista<T>& operator =(const Lista<T>& Lis); // Asig. de listas
12    void insertar(const T& x, posicion p);
13    void eliminar(posicion p);
14    const T& elemento(posicion p) const;// Lec. elto. en Lista const
15    T& elemento(posicion p); // Lec/Esc elto. en Lista no-const
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
16     posicion buscar(const T& x) const;// Req. operador == para T
17     posicion siguiente(posicion p) const;
18     posicion anterior(posicion p) const;
19     posicion primera() const;
20     posicion fin() const; // Posición después del último
21     ~Lista(); // Destructor
22  private:
23     struct nodo {
24        T elto;
25        nodo *ant, *sig;
26        nodo(const T& e, nodo* a = nullptr, nodo* s = nullptr):
27           elto(e), ant(a), sig(s) {}
28     };

30     nodo* L; // lista doblemente enlazada de nodos

32     void copiar(const Lista<T>& Lis);
33  };
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
35 // Método privado
36 template <typename T>
37 void Lista<T>::copiar(const Lista<T> &Lis)
38 {
39    L = new nodo(T()); // Crear el nodo cabecera
40    L->ant = L->sig = L; // Estructura circular
41    // Copiar elementos de Lis
42    for (nodo* q = Lis.L->sig; q != Lis.L; q = q->sig)
43       L->ant = L->ant->sig = new nodo(q->elto, L->ant, L);
44 }
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
46 template <typename T>
47 inline Lista<T>::Lista() : L(new nodo(T())) // Crear cabecera
48 {
49    L->ant = L->sig = L; // Estructura circular
50 }

52 template <typename T>
53 inline Lista<T>::Lista(const Lista<T>& Lis)
54 { copiar(Lis); }

56 template <typename T>
57 Lista<T>& Lista<T>::operator =(const Lista<T>& Lis)
58 {
59    if (this != &Lis) { // Evitar autoasignación
60       this->~Lista(); // Vaciar la lista actual
61       copiar(Lis);
62    }
63    return *this;
64 }
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
66 template <typename T> inline
67 void Lista<T>::insertar(const T& x, Lista<T>::posicion p)
68 {
69    p->sig = p->sig->ant = new nodo(x, p, p->sig);
70    // El nuevo nodo con x queda en la posición p
71 }

73 template <typename T>
74 inline void Lista<T>::eliminar(Lista<T>::posicion p)
75 {
76    assert(p->sig != L); // p no es fin
77    nodo* q = p->sig;
78    p->sig = q->sig;
79    p->sig->ant = p;
80    delete q;
81    // El nodo siguiente queda en la posición p
82 }
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
84 template <typename T> inline
85 const T& Lista<T>::elemento(Lista<T>::posicion p) const
86 {
87    assert(p->sig != L); // p no es fin
88    return p->sig->elto;
89 }

91 template <typename T>
92 inline T& Lista<T>::elemento(Lista<T>::posicion p)
93 {
94    assert(p->sig != L); // p no es fin
95    return p->sig->elto;
96 }
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
 98 template <typename T>
 99 typename Lista<T>::posicion
100    Lista<T>::buscar(const T& x) const
101 {
102    nodo* q = L;
103    bool encontrado = false;
104    while (q->sig != L && !encontrado)
105       if (q->sig->elto == x)
106          encontrado = true;
107       else q = q->sig;
108    return q;
109 }
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
111 template <typename T> inline
112 typename Lista<T>::posicion
113    Lista<T>::siguiente(Lista<T>::posicion p) const
114 {
115    assert(p->sig != L); // p no es fin
116    return p->sig;
117 }

119 template <typename T> inline
120 typename Lista<T>::posicion
121    Lista<T>::anterior(Lista<T>::posicion p) const
122 {
123    assert(p != L); // p no es la primera posición
124    return p->ant;
125 }
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
127 template <typename T>
128 inline typename Lista<T>::posicion Lista<T>::primera() const
129 {
130    return L;
131 }

133 template <typename T>
134 inline typename Lista<T>::posicion Lista<T>::fin() const
135 {
136    return L->ant;
137 }
```

Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
139 // Destructor: vacía la lista y destruye el nodo cabecera
140 template <typename T>
141 Lista<T>::~Lista()
142 {
143    nodo* q;
144    while (L->sig != L) {
145       q = L->sig;
146       L->sig = q->sig;
147       delete q;
148    }
149    delete L;
150 }

152 #endif // LISTA_DOBLE_H
```