

# Análisis de Algoritmos y Estructuras de Datos

## Tema 7: Tipo Abstracto de Datos Lista

M<sup>a</sup> Teresa García Horcajadas    José Fidel Argudo Argudo  
Antonio García Domínguez    Francisco Palomo Lozano



Versión 1.0



# Índice

- 1 Definición del TAD Lista
- 2 Especificación del TAD Lista
- 3 Implementación del TAD Lista

# Definición de Lista

## Lista

Secuencia de elementos del mismo tipo,  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , cuya **longitud**,  $n \geq 0$ , 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

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

cuya **longitud** es  $n \geq 0$ . 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*:  $L = (a_1, a_2, \dots, a_n)$

$$1 \leq p \leq n + 1$$

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

*void eliminar*(*posicion p*)

*Precondiciones*:  $L = (a_1, a_2, \dots, a_n)$

$$1 \leq p \leq n$$

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

# Especificación del TAD *Lista*

`const T& elemento(posicion p) const`

`T& elemento(posicion p)`

*Precondiciones:*  $L = (a_1, a_2, \dots, a_n)$   
 $1 \leq p \leq n$

*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:*  $L = (a_1, a_2, \dots, a_n)$

$$1 \leq p \leq n$$

*Postcondiciones:* Devuelve la posición que sigue a  $p$ .

**posicion anterior(posicion p) const**

*Precondiciones:*  $L = (a_1, a_2, \dots, a_n)$

$$2 \leq p \leq n + 1$$

*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()*.

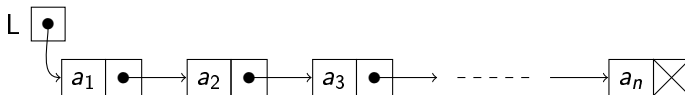
**posicion fin() const**

*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 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 = 0): 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(0) {}

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;

40
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 La inserción se puede mejorar evitando recorrer la lista en todos los casos.
- 3 En la eliminación es inevitable recorrer la lista desde el principio, porque hay que modificar el puntero del nodo anterior al que se suprime.

# 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); // copia *p en *q
8          p->elto = x;
9          p->sig = q;
10     }
11     else // inserción al final
12         if (L == 0) // 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             q->sig = new nodo(x);
18             p = q;
19         }
20 }
```

# Implementación mediante una estructura enlazada

## Inserción en una lista enlazada. Versión 2

- 1 Ahora la inserción es  $\Theta(1)$  en el promedio, pero sigue teniendo un peor caso  $\Theta(n)$ . Hay que recorrer toda la lista para añadir un nuevo nodo al final.
- 2 Hay que considerar la copia adicional del elemento que se encuentra en la posición  $p$ . 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

- ❶ El parámetro posición de estas operaciones se pasa por referencia, porque un nuevo elemento ocupará dicha posición al finalizar.
- ❷ No se cumple totalmente con la especificación del TAD, porque este parámetro se debe pasar por valor.
- ❸ 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.primer());  
4 l.insertar(4,  
5     l.anterior(l.fin()));  
6 l.eliminar(l.primer());
```

## 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.primer();  
9 l.eliminar(p);
```

## Incumplimiento de la especificación

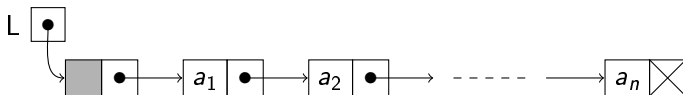
El código de la izquierda es correcto según la especificación del TAD, sin embargo produce errores de compilación porque no se pueden pasar por referencia a *insertar()* y *eliminar()* las posiciones devueltas por *fin()*, *primer()*, *anterior()*, *siguiente()* o *buscar()*.



# Implementación con una estructura enlazada con cabecera

## Modificación de la representación del TAD Lista

Para solventar el incumplimiento de la especificación y la ineficiencia de las inserciones y eliminaciones cambiamos 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>& l); // ctor. de copia, requiere ctor. T()
11     Lista<T>& operator =(const Lista<T>& l); // asignación de
        listas
12     void insertar(const T& x, posicion p);
13     void eliminar(posicion p);
14     const T& elemento(posicion p) const; // acceso a elto, lectura
15     T& elemento(posicion p); // acceso a elto, lectura/escritura
```

# Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
16  posicion buscar(const T& x) const; // T requiere operador ==
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 = 0): elto(e), sig(p) {}
27     };

29     nodo* L; // lista enlazada de nodos

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

# Implementación con una estructura enlazada con cabecera

```
34 // Método privado
35 template <typename T>
36 void Lista<T>::copiar(const Lista<T> &l)
37 {
38     L = new nodo(T()); // crear el nodo cabecera
39     nodo* q = L;
40     for (nodo* r = l.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>& l)
52 {
53     copiar(l);
54 }

56 template <typename T>
57 Lista<T>& Lista<T>::operator =(const Lista<T>& l)
58 {
59     if (this != &l) { // evitar autoasignación
60         this->~Lista(); // vaciar la lista actual
61         copiar(l);
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 }

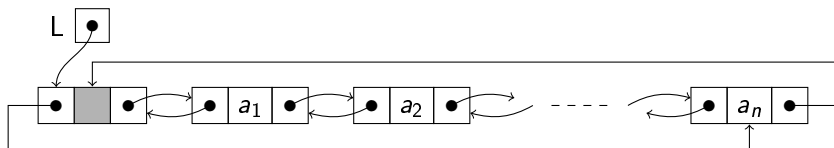
154 #endif // LISTAENLA_H
```

# 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  $\Theta(1)$ .

# 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>& l); // ctor. de copia, requiere ctor. T()
11     Lista<T>& operator =(const Lista<T>& l); // asignación entre
        listas
12     void insertar(const T& x, posicion p);
13     void eliminar(posicion p);
14     const T& elemento(posicion p) const; // acceso a elto, lectura
15     T& elemento(posicion p); // acceso a elto, lectura/escritura
```

# Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

```
16  posicion buscar(const T& x) const; // T requiere operador ==
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 = 0, nodo* s = 0) :
27             elto(e), ant(a), sig(s) {}
28     };

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

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

# Impl. con una estructura doblemente enlazada con cabecera

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

56 template <typename T>
57 Lista<T>& Lista<T>::operator =(const Lista<T>& l)
58 {
59     if (this != &l) { // evitar autoasignación
60         this->~Lista(); // vaciar la lista actual
61         copiar(l);
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
```