

1. Introducción
2. Estructuras de datos lineales
3. Estructuras de datos jerárquicas
4. Grafos y caminos
- 5. Implementación de listas, colas y pilas**
6. Implementación de mapas, árboles y grafos

5. Implementación de listas, colas y pilas

- 5.1. Introducción
- 5.2. Pilas, colas y vectores implementados mediante arrays
- 5.3. Implementaciones con listas enlazadas simples
- 5.4. Listas enlazadas con cursores
- 5.5. Listas doblemente enlazadas

5.1. Introducción

Motivos para crear estructuras de datos propias

- **persistente**: estructura de datos que reside en disco
- **específicas de la aplicación**: por ejemplo, mapa con elementos no modificables, adaptación a los datos concretos de la aplicación
- **optimizadas**: en tiempo de ejecución o en espacio
- **funcionalidad extra**: por ejemplo ordenación especial, ...
- **comodidad**: por ejemplo dar implementaciones más simples o en otros idiomas, ...
- **adaptación** de otras estructuras ya realizadas

Implementación de estructuras de datos propias para colecciones Java

En las colecciones java se definen implementaciones de clases **abstractas**

- pensadas para facilitar la creación de estructuras de datos **propias**
- implementan parte de los métodos, para ahorrar trabajo
 - estos métodos se pueden redefinir si se cree conveniente

Las clases abstractas que se proporcionan son

- **AbstractCollection** — una Colección que no es ni un Conjunto ni una Lista
 - como mínimo hay que proporcionar el iterador y el método **size**
- **AbstractSet** — un Conjunto;
 - como mínimo hay que proporcionar el iterador y el método **size**

Implementación de estructuras de datos propias para colecciones Java



- **AbstractList** — una lista en la que los elementos se guardan en un array o similar
 - como mínimo hay que proporcionar los métodos de acceso posicional (**get** y opcionalmente **set**, **remove** y **add**) y el método **size**
 - la clase ya proporciona el iterador de listas
- **AbstractSequentialList** — una lista en la que los elementos se guardan en una estructura de datos secuencial (por ejemplo una lista enlazada)
 - como mínimo hay que proporcionar el iterador de lista y el método **size**
 - la clase abstracta proporciona los métodos posicionales

Implementación de estructuras de datos propias para colecciones Java



- **AbstractQueue** — una cola
 - como mínimo hay que proporcionar **offer**, **peek**, **poll**, y **size** y un iterador que soporte **remove**
- **AbstractMap** — un Mapa
 - como mínimo hay que proporcionar la vista **entrySet**
 - habitualmente esto se hace con la clase **AbstractSet**
 - si el mapa es modificable, como mínimo hay que proporcionar el método **put**

Proceso para escribir una implementación propia

1. Elegir la clase abstracta apropiada
2. Proporcionar implementaciones para los métodos abstractos
3. Si la colección es modificable, será necesario redefinir también algunos métodos concretos
 - El manual nos describe lo que hace cada uno
4. Codificar y probar la implementación

Relaciones entre datos

En muchas estructuras de datos es preciso establecer **relaciones** o **referencias** entre diferentes datos

- ahorran espacio al no repetir datos
- evitan inconsistencias

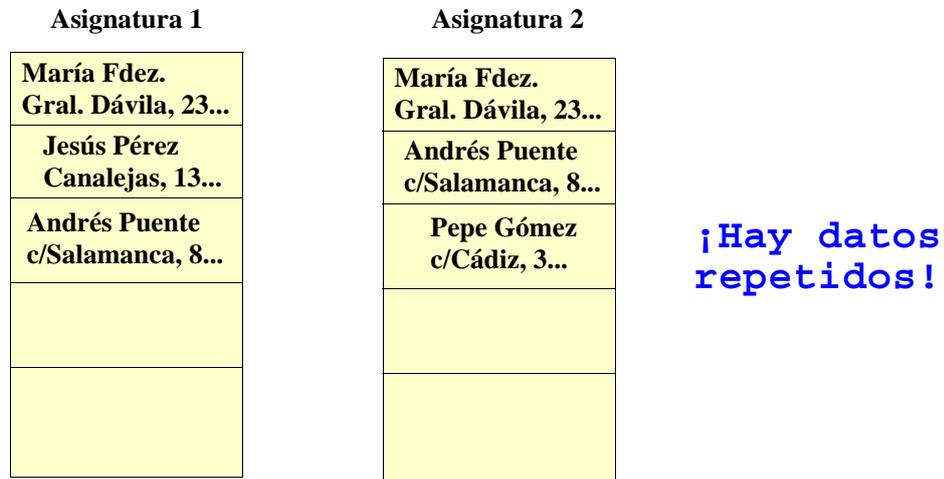
Si los datos están en un array, se pueden utilizar **cursores**

- el cursor es un entero que indica el número de la casilla del array donde está el dato

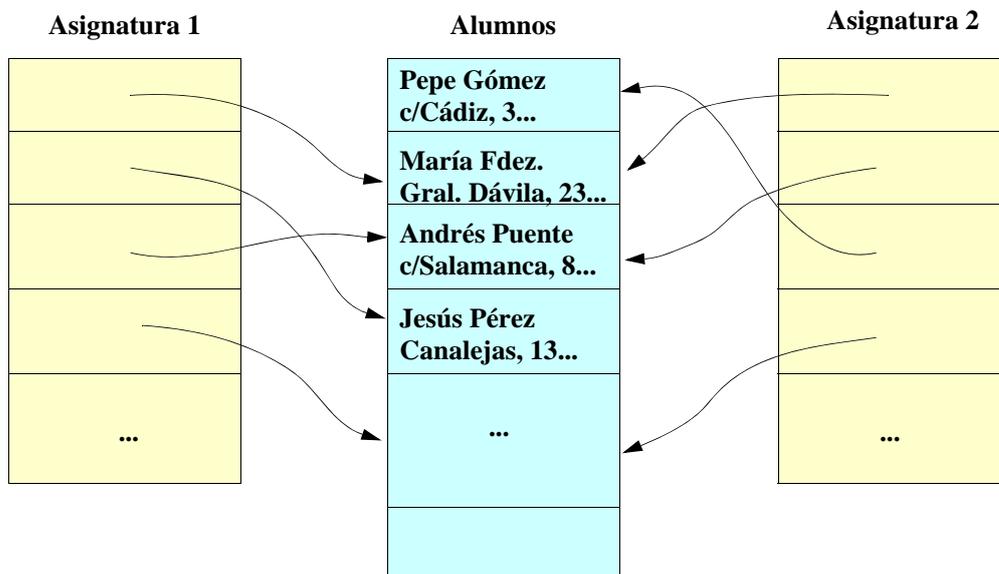
Si la lista de alumnos no es un array deben utilizarse **referencias** o **punteros** (si los soporta el lenguaje de programación)

- son datos especiales que sirven para apuntar o referirse a otros datos

Ejemplo: listas de alumnos de asignaturas



Alternativa: Referencias entre datos



Punteros

Las referencias, también llamadas punteros o tipos acceso, proporcionan acceso a otros objetos de datos

En Java, todos los objetos y arrays se usan a través de referencias

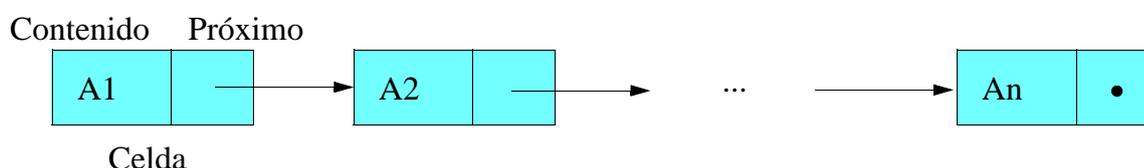
- las variables de los tipos primitivos no
 - enteros, reales, caracteres, booleanos
- pero tienen clases asociadas que permiten usar estos datos como objetos
 - ej., Integer, Double, Boolean, Character

Hay un valor predefinido, **null**, que es el valor por omisión, y no se refiere a ningún dato

Estructuras de datos dinámicas

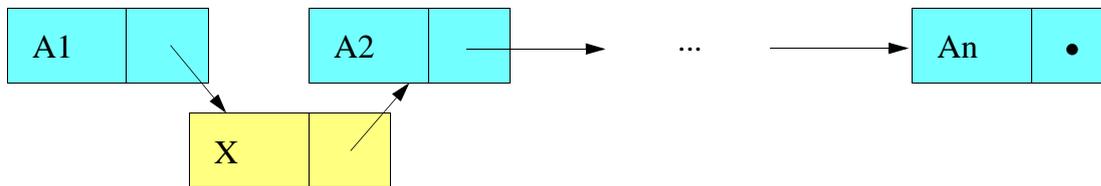
Las referencias son útiles cuando se usan para crear estructuras de datos con relaciones entre objetos

Por ejemplo, una lista enlazada



- cada elemento tiene un contenido y un puntero al **próximo**
- el último tiene un puntero próximo **nulo**

Se pueden insertar nuevos elementos en la posición deseada, eficientemente:

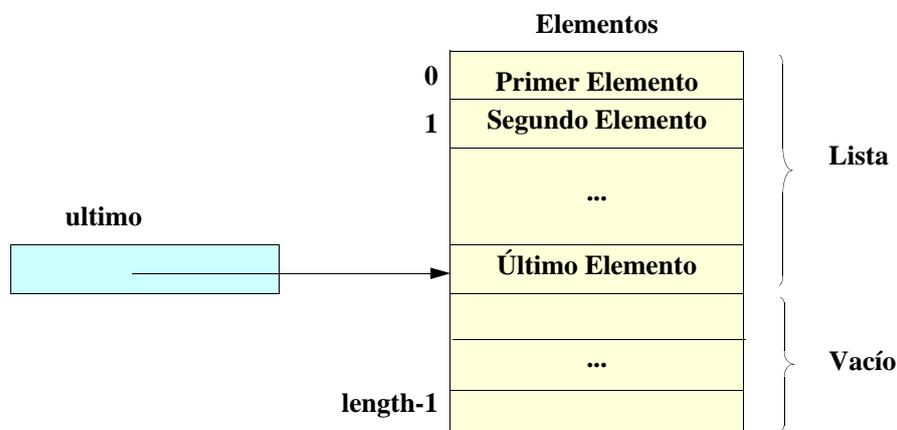


Diferencias con el array:

- los arrays tienen tamaño fijo: ocupan lo mismo, incluso medio vacíos
- con estructuras de datos dinámicas se gasta sólo lo preciso
- pero se necesita espacio para guardar los punteros

5.2. Pilas, colas y vectores implementados mediante arrays

La lista se representa mediante un array en el que cada casilla almacena un elemento, y los elementos se ordenan según el índice de la casilla



Cambio dinámico de tamaño

Cuando la lista está llena y se intenta añadir un nuevo elemento

- lista **acotada**: indicar un error
- lista **ilimitada**: cambiar el tamaño del array

El cambio de tamaño directo no es posible en Java ni en la mayoría de los lenguajes

- crear un nuevo array (por ejemplo del doble de tamaño)
- copiar todos los elementos en el nuevo array
 - en el momento del cambio
 - o poco a poco, en sucesivas operaciones (**amortización**)
- eliminar el array viejo (en Java esto es automático)

5.2.1. Implementación de las operaciones de las listas

El acceso posicional es inmediato

- en el array tenemos acceso posicional de forma natural

La inserción al final es eficiente: $O(1)$

- incrementar el cursor **ultimo**
- meter el nuevo elemento en la casilla **ultimo**

La inserción en la posición **i** es $O(n)$

- hacer hueco
 - mover las casillas en el rango **[i,ultimo]** una casilla hacia adelante, yendo desde el final al principio
- meter el nuevo elemento en la casilla **i**
- incrementar el cursor **ultimo**

Implementación de las operaciones de las listas (cont.)



La eliminación de la posición i es $O(n)$

- almacenar el elemento de la casilla i en una variable
- cerrar el hueco
 - mover las casillas en el rango $[i+1, \text{ultimo}]$ una casilla hacia atrás, yendo del principio hacia el final
- decrementar el cursor ultimo
- retornar la variable con el elemento borrado

Iterador

- se implementa con un cursor que apunta al elemento *próximo*

Ejemplo: implementación de una lista acotada en Java



Queremos implementar algo similar al `ArrayList`, pero que no cambie de tamaño si no cabe un elemento

- puede ser útil en sistemas con listas de tamaño limitado
- o en sistemas de tiempo de respuesta predecible
 - sistemas de tiempo real
- si se excede el tamaño es por un error: conviene indicarlo

En las colecciones Java disponemos de clases abstractas que facilitan la implementación de las diferentes interfaces

Código Java de la lista limitada

```
import java.util.*;

/**
 * Clase con una lista implementada en un array
 * Se limita el numero de elementos que pueden
 * meterse
 */
public class ListaArrayAcotada<E>
    extends AbstractList<E>
{
    public static int maxPorOmission=50;

    // El array y el cursor ultimo
    private E[] lista;
    private int ultimo;
```

Código Java de la lista limitada (cont.)

```
/**
 * Constructor. Se le pasa tamaño máximo de la lista
 */
public ListaArrayAcotada(int max) {
    lista=(E[]) new Object[max];
    ultimo=-1;
}
/**
 * Constructor que crea la lista con un tamaño igual
 * a maxPorOmission
 */
public ListaArrayAcotada() {
    this(maxPorOmission);
}
```

Código Java de la lista limitada (cont.)

```
/**
 * Constructor. Se le pasa colección para copiarla
 */
public ListaArrayAcotada(Collection<E> c) {
    // crea la lista del tamaño de la colección
    this(c.size());
    // anade todos los elementos a la lista
    for (E e:c) {
        add(ultimo+1,e);
    }
}
```

Código Java de la lista limitada (cont.)

```
/**
 * Lectura posicional: get
 * Lanza IndexOutOfBoundsException si
 * el índice es incorrecto
 */
public E get(int indice) {
    // comprueba errores
    if (indice>ultimo) {
        throw new IndexOutOfBoundsException();
    }
    // retorna el elemento
    return lista[indice];
}
```

Código Java de la lista limitada (cont.)

```
/**
 * Escritura posicional: set
 * Lanza IndexOutOfBoundsException si
 * el indice es incorrecto
 */
public E set(int indice, E elemento) {
    // comprueba errores
    if (indice>ultimo) {
        throw new IndexOutOfBoundsException();
    }
    // escribe el elemento y retorna el antiguo
    E antiguo=lista[indice];
    lista[indice]=elemento;
    return antiguo;
}
```

Código Java de la lista limitada (cont.)

```
/**
 * Añadir posicional: add
 * Lanza IndexOutOfBoundsException si el indice es
 * incorrecto; Lanza IllegalStateException si el
 * elemento no cabe
 */
public void add(int indice, E elemento) {
    // comprueba errores
    if (indice>ultimo+1) {
        throw new IndexOutOfBoundsException();
    }
    if (ultimo==lista.length-1) {
        throw new IllegalStateException();
    }
}
```

Código Java de la lista limitada (cont.)

```
// desplaza elementos hacia adelante
for (int i=ultimo; i>=indice; i--) {
    lista[i+1]=lista[i];
}
// añade el elemento
lista[indice]=elemento;
ultimo++;
}
```

Código Java de la lista limitada (cont.)

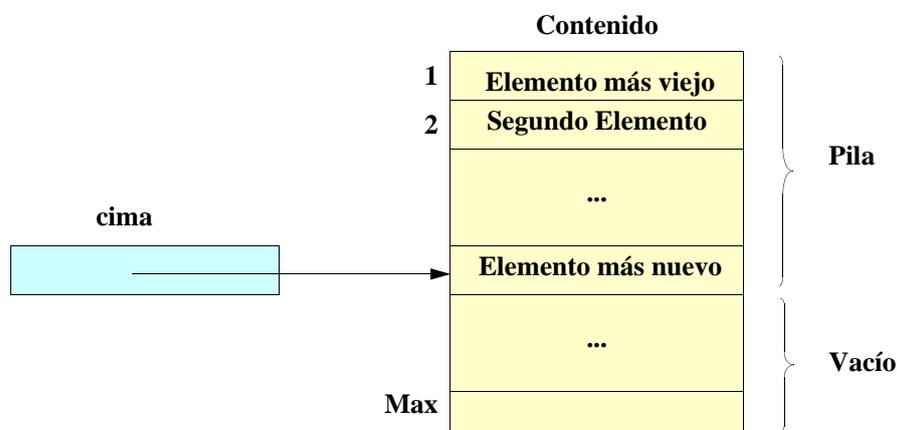
```
/**
 * Borrar posicional. Si el indice es incorrecto
 * Lanza IndexOutOfBoundsException */
public E remove(int indice) {
    if (indice>ultimo) {
        throw new IndexOutOfBoundsException();
    }
    E borrado=lista[indice];
    // desplaza elementos hacia atrás
    for (int i=indice+1; i<=ultimo; i++) {
        lista[i-1]=lista[i];
    }
    ultimo--;
    return borrado;
}
```

```
/**
 * Retorna el tamaño: size
 */
public int size() {
    return ultimo+1;
}
```

5.2.2. Implementación de Pilas con array simple

Los elementos se guardan en un array

El extremo activo se guarda en el atributo **cima**



Implementación de las operaciones

Constructor que crea la pila vacía (y hazNula)

- hace la `cima=-1`

Apila

- si la pila está llena lanza `NoCabe` o agranda el array
- incrementa el cursor `cima`
- mete el nuevo elemento en la casilla `cima`

Desapila

- si la pila está vacía lanza `noExiste`
- decrementa el cursor `cima`
- retorna el elemento de la casilla `cima+1`

Implementación de las operaciones (cont.)

Cima

- si la pila está vacía lanza `noExiste`
- retorna el elemento de la casilla `cima`

EstaVacía

- retorna `cima== -1`

Tamaño

- retorna `cima+1`

Implementación en Java de la pila limitada de array simple

```
import java.util.*;
/**
 * Pila implementada mediante un array simple
 */
public class PilaArraySimple<E> implements Pila<E>
{
    public static int maxPorOmission=50;

    // atributos de la pila
    private E[] contenido;
    private int cima;
    /**
     * Constructor que crea una pila vacía cuyo
     * tamaño es maxPorOmission
     */
}
```

Implementación en Java de la pila limitada de array simple (cont.)

```
public PilaArraySimple()
{
    this(maxPorOmission);
}

/**
 * Constructor que crea una pila vacía cuyo
 * tamaño es max
 */
public PilaArraySimple(int max)
{
    contenido = (E[]) new Object[max];
    cima=-1;
}
```

Implementación en Java de la pila limitada de array simple (cont.)

```
/**
 * Apilar un elemento
 * Lanza IllegalStateException si está llena
 */
public void apila(E e) {
    if (estaLlena()) {
        throw new IllegalStateException();
    }
    cima++;
    contenido[cima]=e;
}
```

Implementación en Java de la pila limitada de array simple (cont.)

```
/**
 * Desapilar un elemento
 */
public E desapila() throws NoSuchElementException
{
    if (estaVacía()) {
        throw new NoSuchElementException();
    }
    cima--;
    return contenido[cima+1];
}
```

Implementación en Java de la pila limitada de array simple (cont.)

```
/**
 * Retornar el elem. de la cima, sin desapilarlo
 */
public E cima() throws NoSuchElementException {
    if (cima==-1) {
        throw new NoSuchElementException();
    } else {
        return contenido[cima];
    }
}
```

Implementación en Java de la pila limitada de array simple (cont.)

```
/**
 * Saber si la pila esta vacía
 */
public boolean estaVacía() {
    return cima==-1;
}

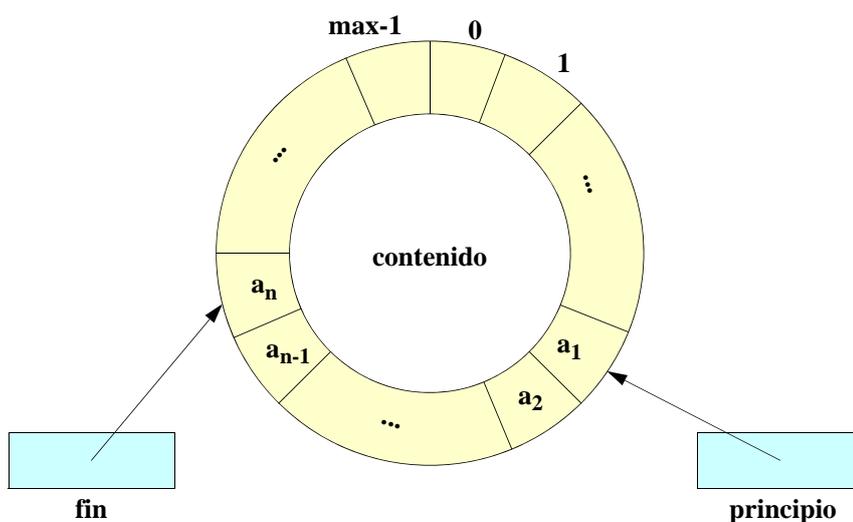
/**
 * Saber si la pila esta llena
 */
public boolean estaLlena() {
    return cima==contenido.length-1;
}
```

Implementación en Java de la pila limitada de array simple (cont.)

```
/**
 * Hacer nula la pila
 */
public void hazNula() {
    cima=-1;
}

/**
 * Retornar el numero de elementos en la pila
 */
public int tamaño() {
    return cima+1;
}
}
```

5.2.3. Implementación de colas mediante arrays circulares



Elementos de la implementación mediante cola circular

Array circular

- **contenido**: es un array lineal en el que se considera que el elemento siguiente al último es el primero

Cursores

- **principio**: primer elemento
- **fin**: último elemento

Almacenamiento de la situación de *cola vacía*

- dejando siempre al menos un hueco vacío, para distinguir la cola llena de la cola vacía
- o almacenando el número de elementos, o un booleano que diga si la cola está vacía o no

Operaciones con colas circulares (dejando un hueco vacío)

Definimos la operación de incrementar un cursor como:

- $x \oplus n = (x+n) \bmod \max$
- sirve para tratar el array como circular

Constructor, hazNula

- **principio**=0
- **fin**=max-1

Está vacía

- $\text{fin} \oplus 1 == \text{principio}$

Está Llena

- $\text{fin} \oplus 2 == \text{principio}$

Operaciones con colas circulares (dejando un hueco vacío)

Tamaño

- $(\text{fin} - \text{principio} + \text{max} + 1) \bmod \text{max}$

Encola

- si la cola está llena lanza **NoCabe**
- $\text{fin} = \text{fin} \oplus 1$
- meter el elemento nuevo en la casilla **fin**

Desencola

- si la cola está vacía lanza **NoExiste**
- el elemento a retornar es el de la casilla **principio**
- $\text{principio} = \text{principio} \oplus 1$

Iterador de la cola

El iterador es un cursor al elemento siguiente

siguiente:

- avanzar (circularmente) el cursor siguiente

hay siguiente:

- es falso si el cursor está después del final de la cola

borrar:

- lo dejaremos sin implementar, ya que el borrado en mitad de la cola sería muy poco eficiente

Implementación en Java de la cola limitada con array circular



```
import java.util.*;

/**
 * Clase que representa una cola implementada mediante
 * un array circular
 */
public class ColaCircular<E> extends AbstractQueue<E>
{
    public static int maxPorOmission=50;

    // atributos de la cola
    private E[] contenido;
    private int principio,fin;
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)



```
/**
 * Constructor que crea una cola vacía cuyo
 * tamaño es maxPorOmission
 */
public ColaCircular()
{
    this(maxPorOmission);
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Constructor que crea una cola vacía cuyo
 * tamaño es max
 */
public ColaCircular(int max)
{
    contenido = (E[]) new Object[max+1];
    principio=0;
    fin=contenido.length-1;
}

/**
 * Constructor que crea una cola cuyos elementos
 * obtiene de la colección que se le pasa
 */
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
public ColaCircular(Collection<E> c) {
    // crea la cola del tamaño de la colección
    this(c.size());
    // añade todos los elementos a la cola
    for (E e:c) {
        offer(e);
    }
}

// incrementar un cursor
private int incr(int x, int n) {
    return (x+n)%contenido.length;
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Añade un elem. a la cola; retorna false si no cabe
 * y true si cabe; no admite elementos nulos
 */
public boolean offer(E e) {
    if (isFull() || e==null) {
        return false;
    } else {
        fin=incr(fin,1);
        contenido[fin]=e;
        return true;
    }
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Elimina y retorna un elemento de la cola
 * retorna null si no hay elementos
 */
public E poll() {
    if (isEmpty()) {
        return null;
    } else {
        E borrado=contenido[principio];
        principio=incr(principio,1);
        return borrado;
    }
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)



```
/**
 * Retorna el primer elem. de la cola sin eliminarlo
 * retorna null si no hay elementos
 */
public E peek() {
    if (isEmpty()) {
        return null;
    } else {
        return contenido[principio];
    }
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)



```
/**
 * Retorna el número de elementos
 */
public int size() {
    return (fin-principio+contenido.length+1)%
           contenido.length;
}

/**
 * Indica si la cola está vacía
 */
public boolean isEmpty() {
    return incr(fin,1)==principio;
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Indica si la cola esta llena
 */
public boolean isFull() {
    return incr(fin,2)==principio;
}

/**
 * Clase iterador de la cola circular
 */
public static class ColaCircularIterator<E>
implements Iterator<E>
{
    private int siguiente;
    private ColaCircular<E> cola;
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Constructor al que se le pasa la cola
 * No es público, para que se use el metodo
 * iterator() al crearlo
 */
ColaCircularIterator(ColaCircular<E> cola) {
    this.col=cola;
    siguiente=cola.principio;
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Obtener el proximo elemento y
 * avanzar el iterador
 */
public E next() {
    if (hasNext()) {
        E sig=cola.contenido[siguiente];
        siguiente=cola.incr(siguiente,1);
        return sig;
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Indicar si hay elemento siguiente
 */
public boolean hasNext() {
    return ! (cola.incr(cola.fin,1)==siguiente);
}

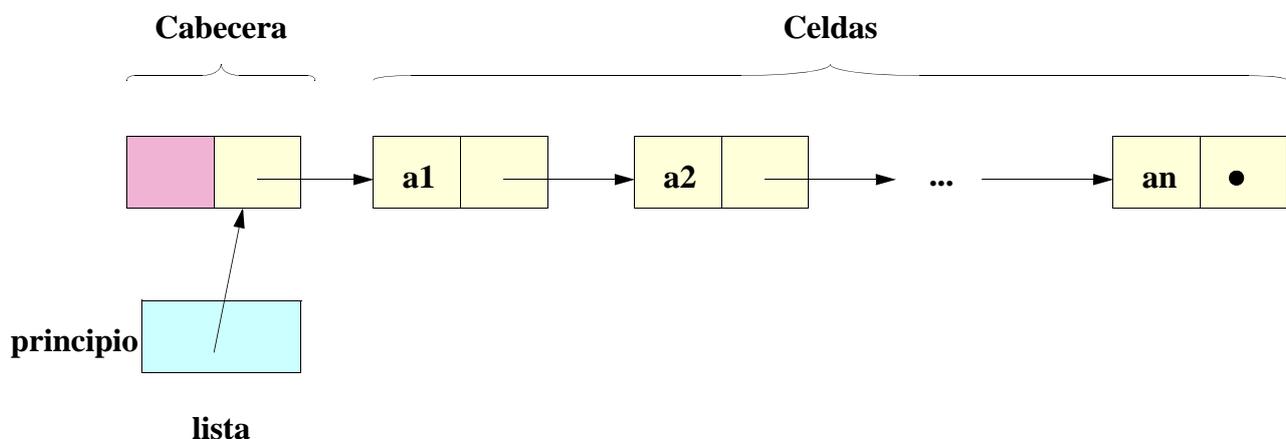
/**
 * Borra no se implementa por poco eficiente
 */
public void remove() {
    throw new UnsupportedOperationException();
}
} // fin de la clase iterador
```

Implementación en Java de la cola limitada con array circular (cont.)

```
/**
 * Iterador de la cola
 */
public Iterator<E> iterator() {
    return new ColaCircularIterator<E>(this);
}
} // fin de la clase ColaCircular
```

5.3. Listas y colas implementadas con listas enlazadas simples

La lista de celdas simplemente enlazadas con punteros

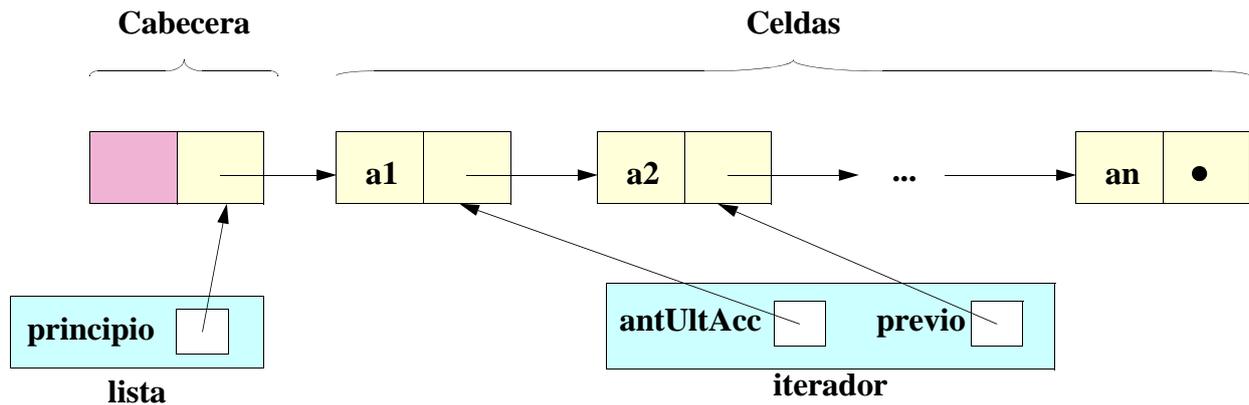


- el primer elemento (***cabecera***) está vacío
- la lista contiene un puntero (***principio***) a la cabecera

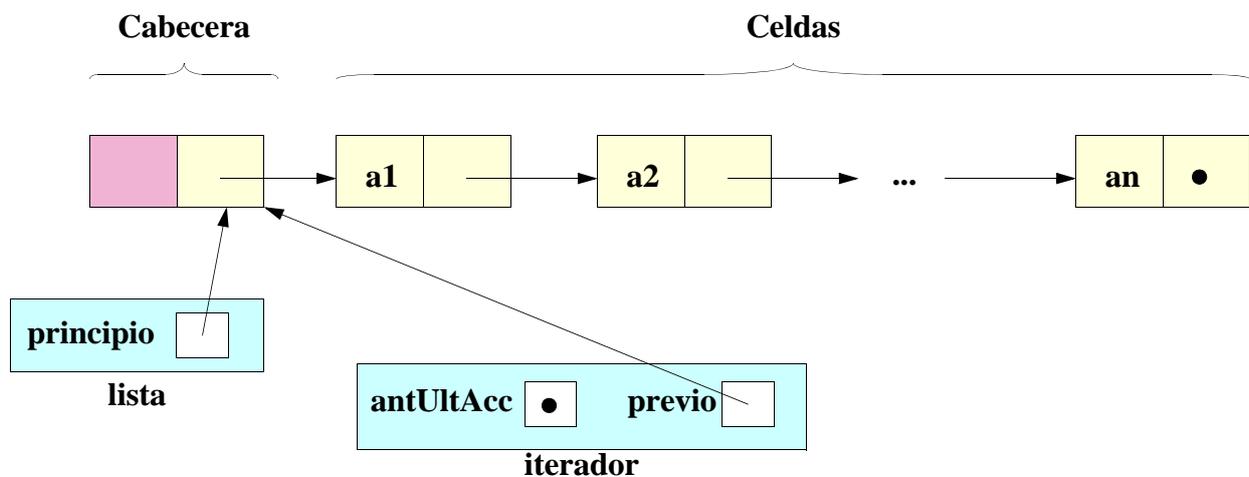
5.3.1. Implementación de listas: Iterador de la lista

El iterador de la lista contiene

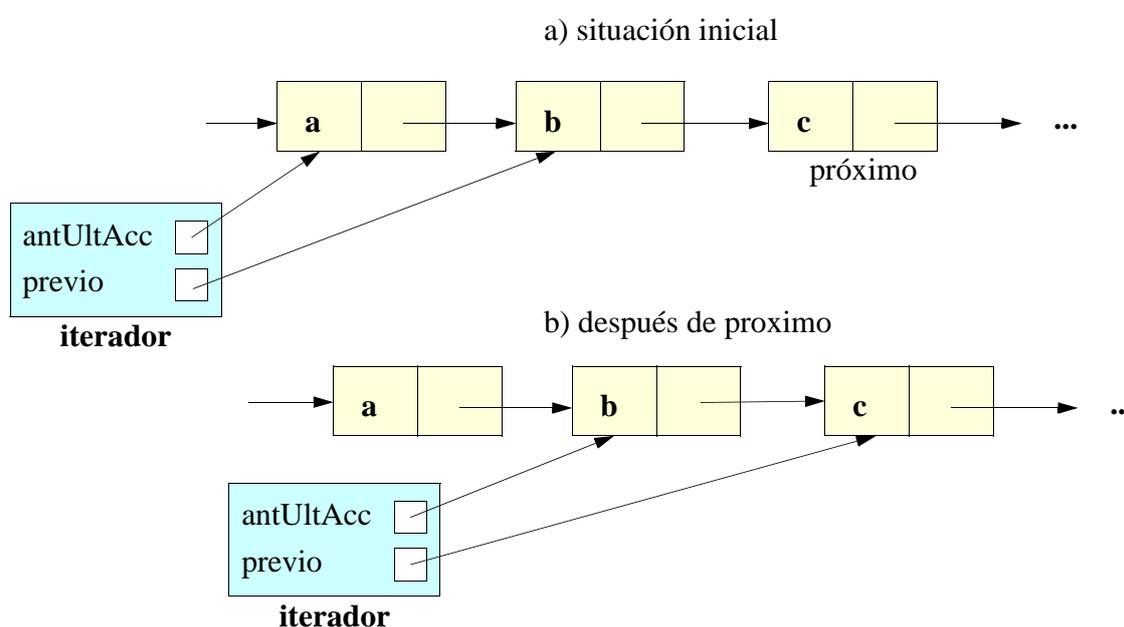
- **previo**: un puntero al elemento previo
- **antUltAcc**: un puntero al elemento anterior al último elemento accedido a través del iterador (con **proximo** o **previo**)



Situación inicial del iterador



Avance del iterador: próximo



Avance del iterador: previo

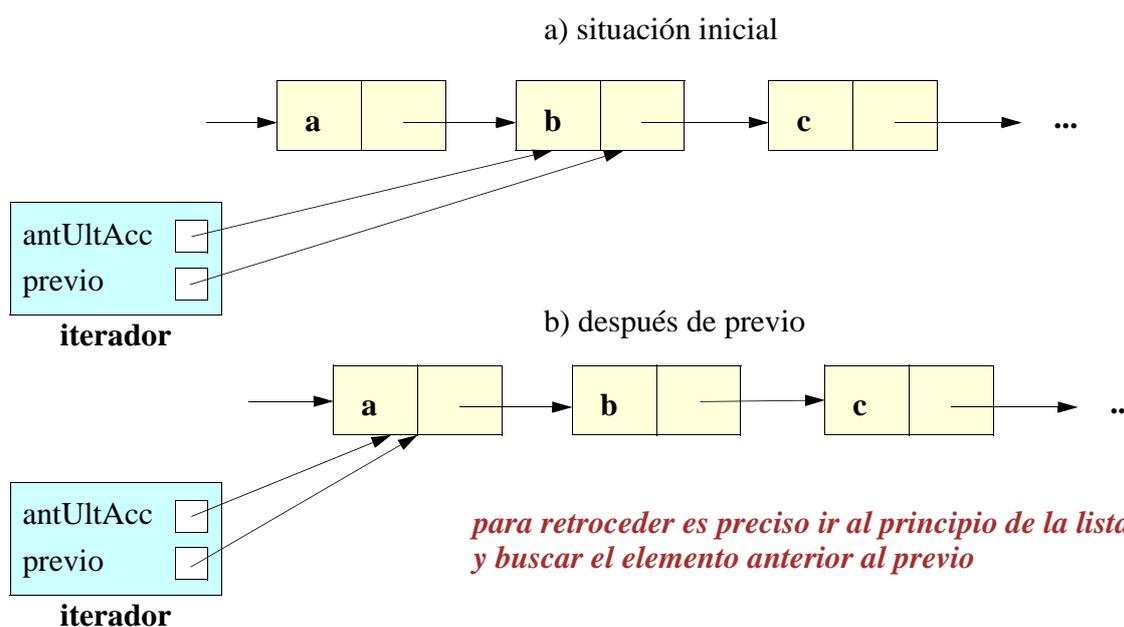


Diagrama de añade

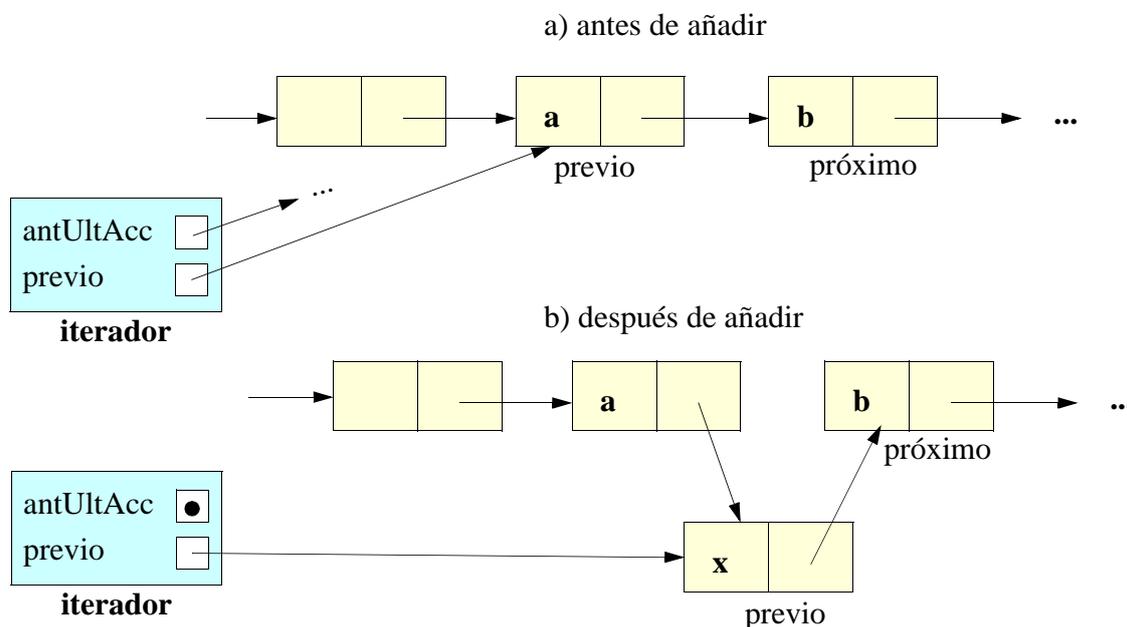


Diagrama de borra (después de próximo)

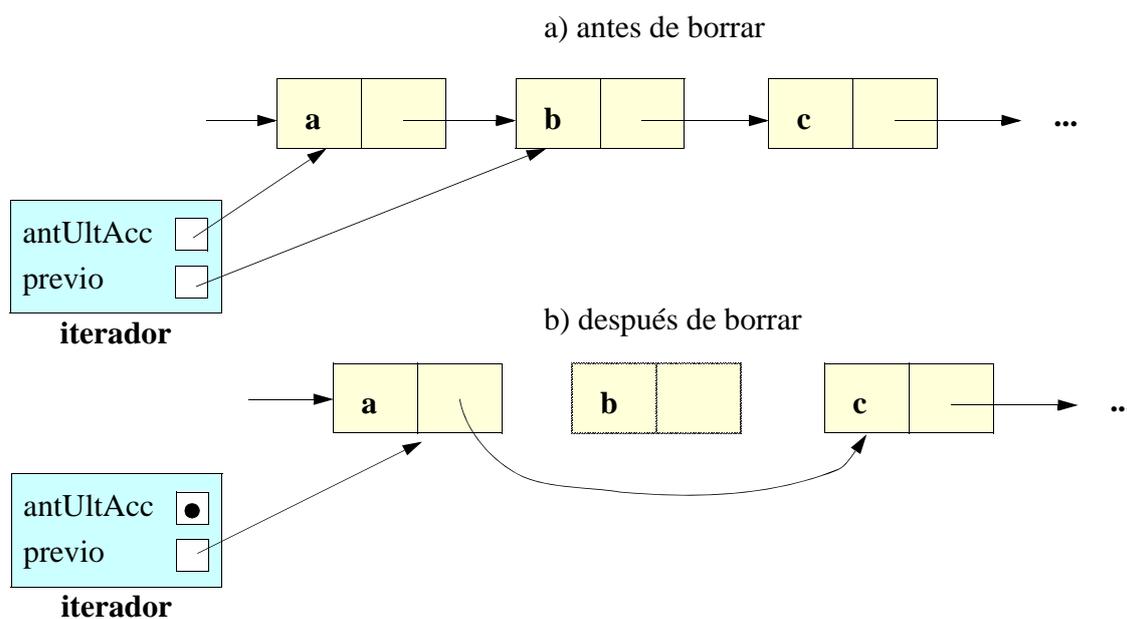
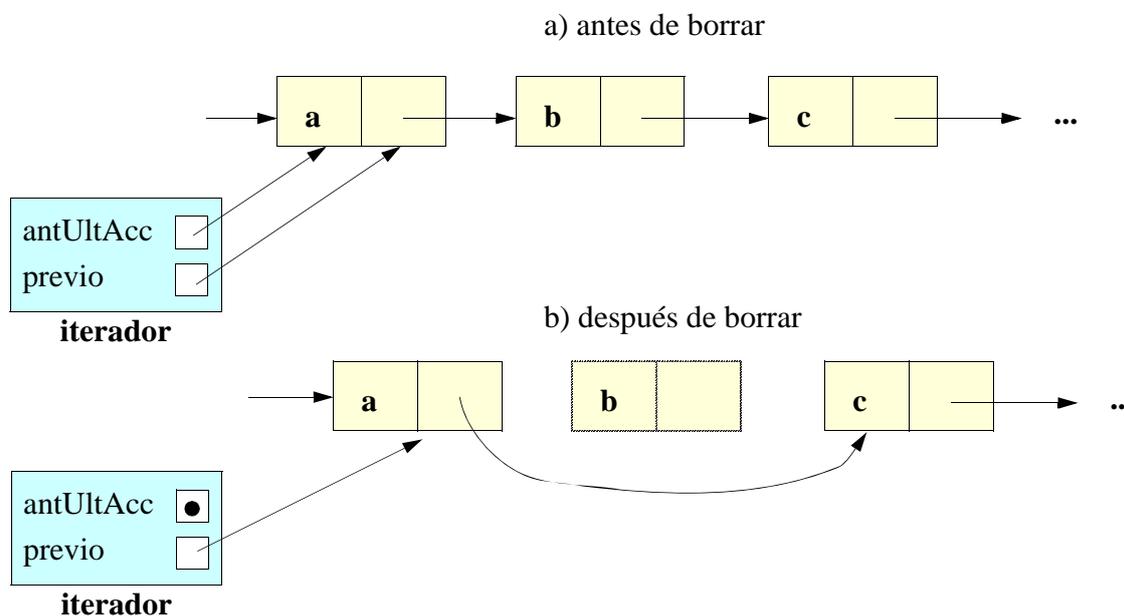


Diagrama de borra (después de previo)



Comparación de las implementaciones

	array simple	lista enlazada con punteros
Tamaño máximo lista	fijo	dinámico
añade	$O(n)$	$O(1)$
borra	$O(n)$	$O(1)$
busca	$O(n)$	$O(n)$
obten elemento i	$O(1)$	$O(n)$
cambia elemento i	$O(1)$	$O(n)$
obtener iterador al principio	$O(1)$	$O(1)$
obtener iterador en posición i	$O(1)$	$O(n)$
Tiempo de Siguiete	$O(1)$	$O(1)$
Tiempo de Anterior	$O(1)$	$O(n)$

Implementación Java de la lista enlazada simple

```
import java.util.*;

/**
 * Clase con una lista implementada mediante
 * una lista enlazada simple
 */
public class ListaEnlazadaSimple<E>
    extends AbstractSequentialList<E>
{
    // atributos privados
    private Celda<E> principio;
    private int num;
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
// clase privada que define la celda
private static class Celda<E> {
    E contenido;
    Celda<E> siguiente;

    Celda(E cont) {
        contenido=cont;
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Constructor que crea la lista vacía
 */
public ListaEnlazadaSimple()
{
    // crea la cabecera
    principio=new Celda<E>(null);
    num=0;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple

```
/**
 * Constructor que crea la lista vacía con los
 * elementos de la colección c
 */
public ListaEnlazadaSimple(Collection<E> c)
{
    this();
    Celda<E> actual=principio;
    for (E e:c) {
        actual.siguiete=new Celda<E>(e);
        actual=actual.siguiete;
        num++;
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Retorna el tamaño de la lista
 */
public int size() {
    return num;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Clase iteradora de lista
 */
public static class IteradorListaEnlazada<E>
    implements ListIterator<E>
{
    // atributos del iterador
    private Celda<E> previo;
    private Celda<E> antUltAcc;
    private ListaEnlazadaSimple<E> lista;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)



```
/*
 * Constructor del iterador; no es publico
 */
IteradorListaEnlazada
  (ListaEnlazadaSimple<E> lista)
{
  this.lista=lista;
  previo=lista.principio;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)



```
/*
 * Constructor del iterador; no es publico
 */
IteradorListaEnlazada
  (ListaEnlazadaSimple<E> lista, int i)
{
  this(lista);
  for (int j=0; j<i; j++) {
    next();
  }
  antUltAcc==null;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Indica si hay elemento siguiente
 */
public boolean hasNext() {
    return previo.siguiente!=null;
}

/**
 * Indica si hay elemento previo
 */
public boolean hasPrevious() {
    return previo!=lista.principio;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Obtiene el siguiente y avanza el iterador
 */
public E next() {
    if (hasNext()) {
        antUltAcc=previo;
        previo=previo.siguiente;
        return previo.contenido;
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}

/**
 * Obtiene elem. previo y retrocede el iterador
 */
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
public E previous() {
    if (hasPrevious()) {
        E cont=previo.contenido;
        // buscar el elemento anterior al previo
        Celda<E> anterior=lista.principio;
        while (anterior.siguiete!=previo) {
            anterior=anterior.siguiete;
        }
        previo=anterior;
        antUltAcc=previo;
        return cont;
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Obtiene el indice del elemento proximo
 */
public int nextIndex() {
    return previousIndex()+1;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Obtiene el indice del elemento previo
 */
public int previousIndex() {
    int ind=-1;
    Celda<E> actual=lista.principio;
    while (actual!=previo) {
        actual=actual.siguiete;
        ind++;
    }
    return ind;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Borra el ultimo elemento accedido */
public void remove() {
    if (antUltAcc!=null) {
        Celda<E> borrar=antUltAcc.siguiete;
        antUltAcc.siguiete=borrar.siguiete;
        if (previo==borrar) {
            previo=antUltAcc;
        }
        antUltAcc=null;
        lista.num--;
    } else {
        throw new IllegalStateException();
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Cambia el ultimo elemento accedido
 */
public void set(E e) {
    if (antUltAcc!=null) {
        antUltAcc.siguiete.contenido=e;
    } else {
        throw new IllegalStateException();
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Anade un elem. entre el previo y el proximo
 */
public void add(E e) {
    Celda<E> nueva=new Celda<E>(e);
    nueva.siguiete=previo.siguiete;
    previo.siguiete=nueva;
    previo=nueva;
    antUltAcc=null;
    lista.num++;
}
} // fin de la clase iteradora
```

Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Retorna el iterador
 */
public ListIterator<E> listIterator() {
    return new IteradorListaEnlazada<E>(this);
}
```

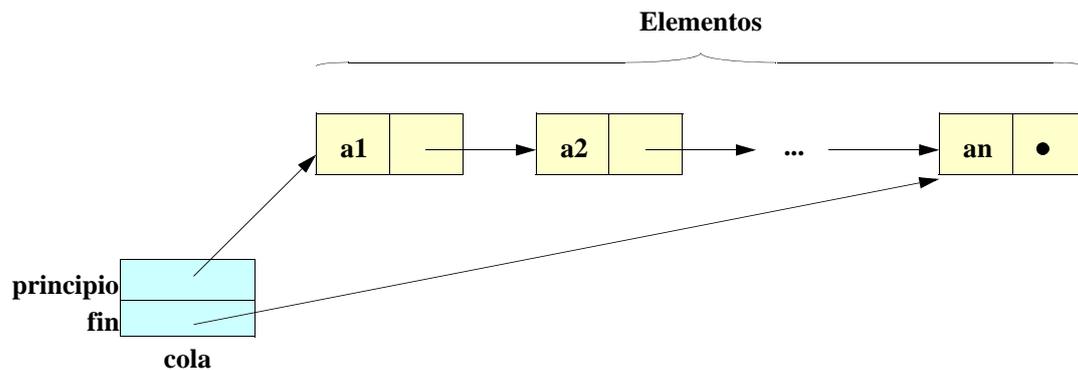
Implementación Java de la lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Retorna el iterador colocado
 * en la posición i
 */
public ListIterator<E> listIterator(int i) {
    if (i >= 0 && i <= size()) {
        return new IteradorListaEnlazada<E>(this, i);
    } else {
        throw new IndexOutOfBoundsException();
    }
}
}
```

5.3.2. Implementación de colas mediante una lista enlazada

Los elementos se guardan en una lista enlazada

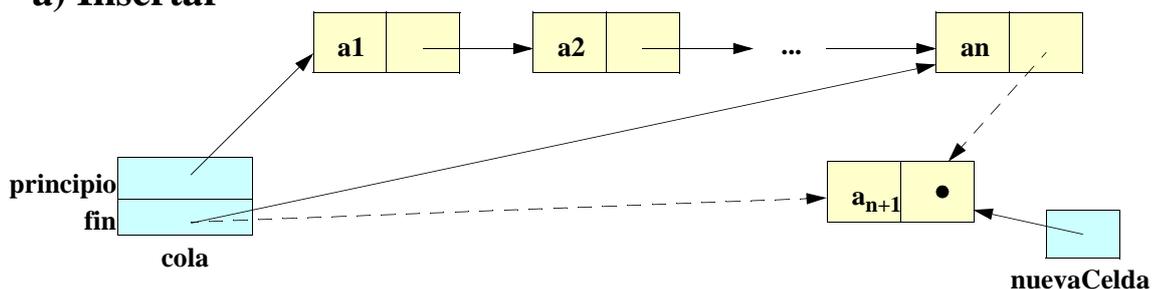
La cola tiene un puntero al principio y otro al final; los elementos se insertan por el final y se extraen por el principio



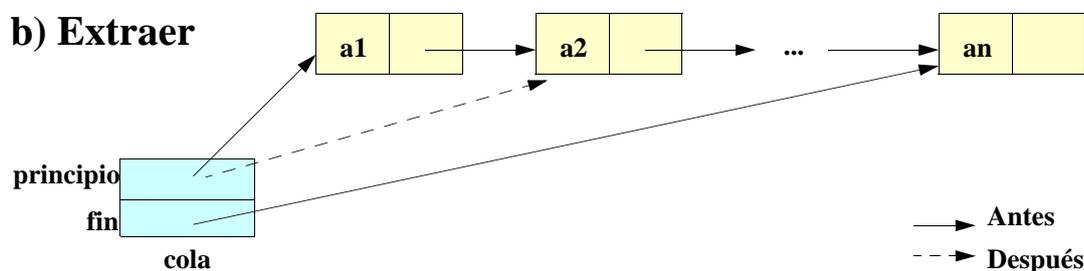
Las pilas con listas enlazadas son similares (cima=principio)

Operaciones de colas con punteros: insertar

a) Insertar



Operaciones de colas con punteros: extraer



Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple

```
import java.util.*;

/**
 * Clase que representa una cola implementada mediante
 * una lista enlazada
 */
public class ColaEnlazada<E> extends AbstractQueue<E>
{
    // atributos de la cola
    private Celda<E> principio, fin;
    private int num;

    // clase privada que define la celda
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)

```
private static class Celda<E> {
    E contenido;
    Celda<E> siguiente;

    Celda(E cont) {
        contenido=cont;
    }
}

/**
 * Constructor que crea una cola vacía
 */
public ColaEnlazada() {
    num=0;
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Constructor que crea una cola con los elementos
 * de la colección que se le pasa
 */
public ColaEnlazada(Collection<E> c) {
    // crea la cola vacía
    this();
    // anade todos los elementos a la cola
    for (E e:c) {
        offer(e);
    }
}

/**
 * Anade elemento a la cola; retorna false si no cabe
 * y true en otro caso; no admite elementos nulos */
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)

```
public boolean offer(E e) {
    if (e==null) {
        return false;
    } else {
        Celda<E> nuevaCelda=new Celda<E> (e);
        if (principio==null) {
            principio=nuevaCelda;
        } else {
            fin.siguiete=nuevaCelda;
        }
        fin=nuevaCelda;
        num++;
        return true;
    }
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)

```
/** Elimina y retorna un elemento de la cola  
 * retorna null si no hay elementos */
public E poll() {
    if (isEmpty()) {
        return null;
    } else {
        E borrado=principio.contenido;
        principio=principio.siguiete;
        if (principio==null) {
            fin=null; // la cola esta vacía
        }
        num--;
        return borrado;
    }
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)



```
/**
 * Retorna el 1º elemento de la cola sin eliminarlo
 * retorna null si no hay elementos
 */
public E peek() {
    if (isEmpty()) {
        return null;
    } else {
        return principio.contenido;
    }
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)



```
/**
 * Retorna el numero de elementos
 */
public int size() {
    return num;
}

/**
 * Indica si la cola esta vacía
 */
public boolean isEmpty() {
    return principio==null;
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Clase iterador de la cola enlazada
 */
public static class ColaEnlazadaIterator<E>
    implements Iterator<E>
{
    private Celda<E> siguiente;
    private ColaEnlazada<E> cola;

    ColaEnlazadaIterator(ColaEnlazada<E> cola) {
        this.colas=cola;
        siguiente=cola.principio;
    }
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)

```
/**
 * Obtener el proximo elem. y avanzar el iterador
 */
public E next() {
    if (hasNext()) {
        E sig=siguiente.contenido;
        siguiente=siguiente.siguiente;
        return sig;
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)



```
/**
 * Indicar si hay elemento siguiente
 */
public boolean hasNext() {
    return siguiente!=null;
}

/**
 * Borra no se implementa, por poco eficiente
 */
public void remove() {
    throw new UnsupportedOperationException();
}
}
```

Implementación en Java de las colas con lista enlazada simple (cont.)

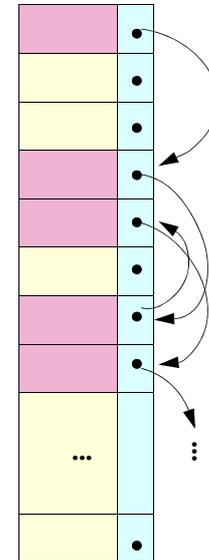


```
/**
 * Retorna el iterador de la cola enlazada
 */
public Iterator<E> iterator() {
    return new ColaEnlazadaIterator<E>(this);
}
}
```

5.4. Implementación con listas enlazadas mediante cursores

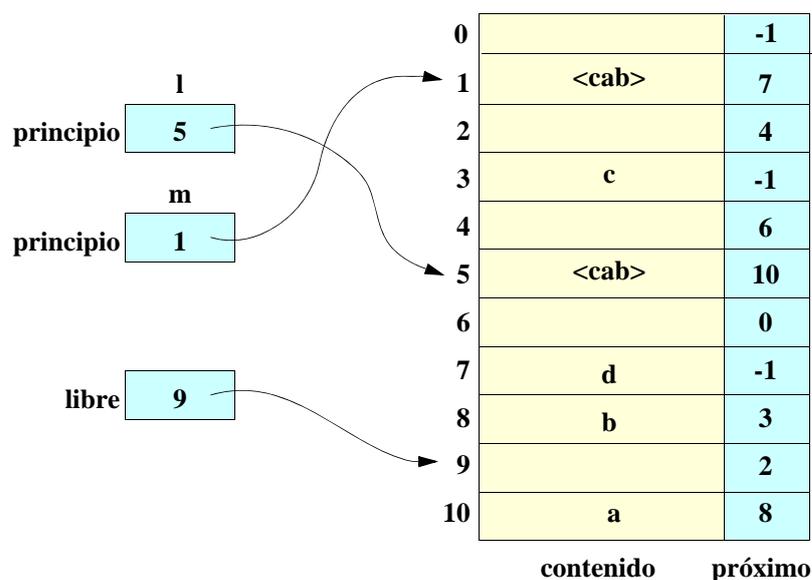
Cualquier estructura de datos realizada mediante punteros se puede implementar también mediante cursores

- los elementos se almacenan en un array
- los punteros se sustituyen por cursores
- pueden coexistir varias estructuras de datos si los elementos son de la misma jerarquía de clases
- los elementos vacíos se organizan en forma de lista encadenada



Se desaprovecha memoria si la estructura no está llena

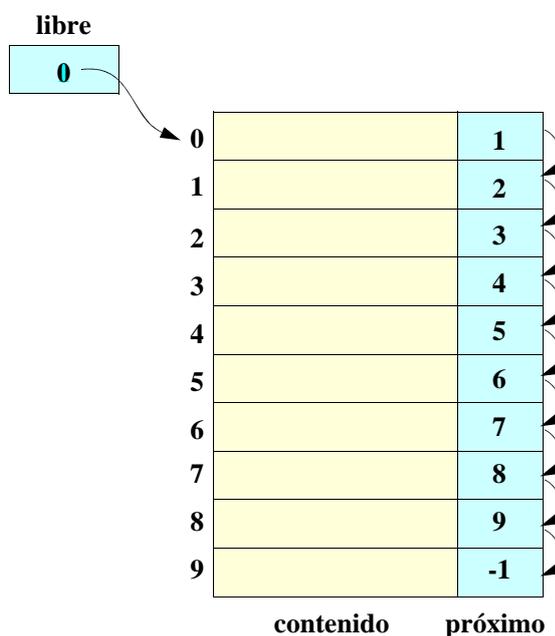
Almacenamiento de varias listas



Inicialización de las listas

Antes de poder usar las listas es preciso poner todas las celdas en la lista de celdas libres

Para inicializar una lista se reserva una celda cabecera vacía



Inicialización

```

método inicializa
  para i desde 0 hasta maxElem-2, paso -1
  hacer
    proximo[i]:=i+1;
  fpara;
  libre:=0;
  proximo[maxElem-1]:=-1; // final de lista
fmétodo
  
```

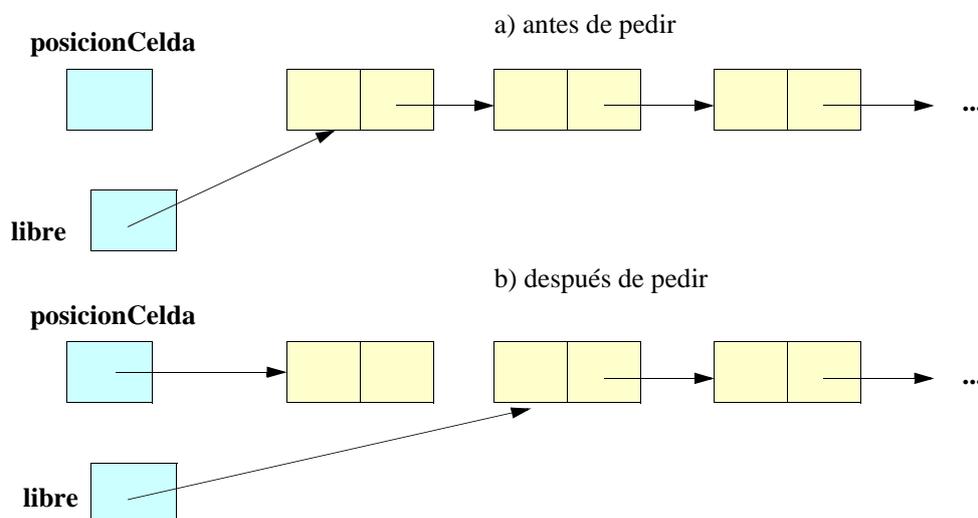
Si las tablas son estáticas, hay que asegurarse de que se inicializan antes de que otros objetos puedan usarlas

- En java se puede usar un inicializador estático

```

static {
    inicializa();
}
  
```

Pedir una celda nueva:

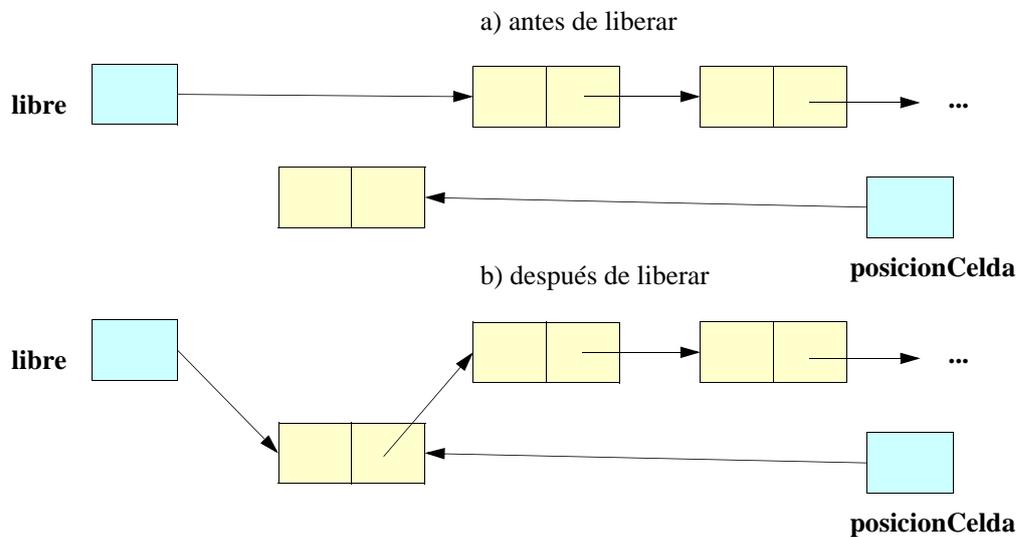


Pedir Celda

```
método pedirCelda(Elemento e) retorna entero
begin
  var entero posicionCelda; fvar;
  si libre== -1 then
    lanza NoCabe;
  si no
    posicionCelda:=libre;
    libre:=proximo[libre];
    proximo[posicionCelda]:=-1;
    contenido[posicionCelda]:=e;
  fsi;
  retorna posicionCelda;
fmétodo;
```

Operaciones básicas con las celdas

Liberar una celda:



Liberar Celda

```
método liberarCelda (entero posicionCelda)  
    proximo[posicionCelda]:=libre;  
    libre:=posicionCelda;  
fmétodo
```

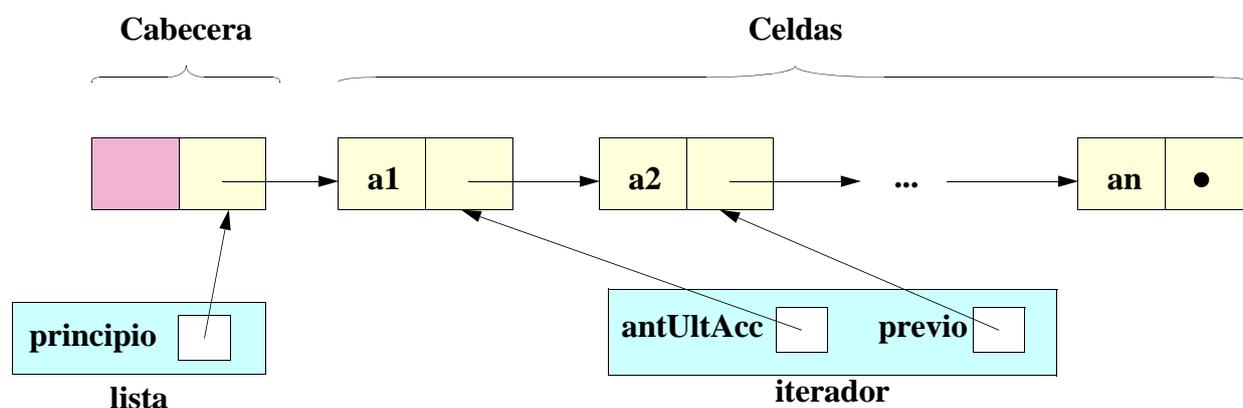
Crear una lista vacía

```
método Constructor()
    principio=pedirCelda(null);
fmétodo;
```

Iterador de la lista

El iterador de la lista es como en la lista enlazada con punteros:

- **previo**: un cursor al elemento previo
- **antUltAcc**: un cursor al elemento anterior al último elemento accedido a través del iterador (con **proximo** o **previo**)



Implementación Java de la lista enlazada con cursores

```
import java.util.*;
/**
 * Clase que representa una lista implementada con
 * una lista enlazada simple
 */
public class ListaCursores<E>
    extends AbstractSequentialList<E>
{
    // Espacio para colocar las listas
    // se define con atributos estáticos
    public static int maxElem=1000;
    private static int[] proximo=new int[maxElem];
    private static Object[] contenido=
        new Object[maxElem];
    private static int libre;
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
private static void inicializa() {
    for(int i=maxElem-2; i>=0; i--) {
        proximo[i]=i+1;
    }
    libre=0;
    proximo[maxElem-1]=-1; // final de lista
}

static {
    inicializa();
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
private static int pedirCelda(Object elem) {
    int posicionCelda;
    if (libre==-1) {
        throw new IllegalStateException();
    } else {
        posicionCelda=libre;
        libre=proximo[libre];
        proximo[posicionCelda]=-1;
        contenido[posicionCelda]=elem;
    }
    return posicionCelda;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
private static void liberarCelda(int posicionCelda)
{
    proximo[posicionCelda]=libre;
    libre=posicionCelda;
}

// atributos privados
private int principio;
private int num;
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Constructor que crea la lista vacía
 */
public ListaCursores()
{
    // crea la cabecera
    principio=pedirCelda(null);
    num=0;
}

/**
 * Constructor que crea la lista vacía con los
 * elementos de la colección c
 */
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
public ListaCursores(Collection<E> c) {
    this();
    int actual=principio;
    for (E e:c) {
        proximo[actual]=pedirCelda(e);
        actual=proximo[actual];
        num++;
    }
}

/**
 * Retorna el tamaño de la lista
 */
public int size() {
    return num;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Clase iteradora de lista
 */
public static class IteradorListaCursores<E>
    implements ListIterator<E>
{
    // atributos del iterador
    private int previo;
    private int antUltAcc;
    private ListaCursores<E> lista;

    /*
     * Constructor del iterador; no es publico
     */
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
IteradorListaCursores(ListaCursores<E> lista) {
    this.lista=lista;
    previo=lista.principio;
    antUltAcc=-1;
}
/** Constructor del iterador; no es publico */
IteradorListaCursores(ListaCursores<E> lista,
    int i)
{
    this(lista);
    for (int j=0; j<i; j++) {
        next();
    }
    antUltAcc=-1;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Indica si hay elemento siguiente
 */
public boolean hasNext() {
    return proximo[previo]!=-1;
}

/**
 * Indica si hay elemento previo
 */
public boolean hasPrevious() {
    return previo!=lista.principio;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Obtiene el siguiente y avanza el iterador
 */
public E next() {
    if (hasNext()) {
        antUltAcc=previo;
        previo=proximo[previo];
        return (E) contenido[previo];
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}

/**
 * Obtiene el elemento previo y retrocede
 */
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
public E previous() {
    if (hasPrevious()) {
        E cont=(E) contenido[previo];
        // buscar el elemento anterior al previo
        int anterior=lista.principio;
        while (proximo[anterior]!=previo) {
            anterior=proximo[anterior];
        }
        previo=anterior;
        antUltAcc=previo;
        return cont;
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Obtiene el indice del elemento previo
 */
public int previousIndex() {
    int ind=-1;
    int actual=lista.principio;
    while (actual!=previo) {
        actual=proximo[actual];
        ind++;
    }
    return ind;
}
/**
 * Borra el ultimo elemento accedido
 */
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
public void remove() {
    if (antUltAcc!=-1) {
        int borrar=proximo[antUltAcc];
        proximo[antUltAcc]=proximo[borrar];
        if (previo==borrar) {
            previo=antUltAcc;
        }
        antUltAcc=-1;
        lista.num--;
        liberarCelda(borrar);
    } else {
        throw new IllegalStateException();
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Obtiene el indice del elemento proximo
 */
public int nextIndex() {
    return previousIndex()+1;
}
/**
 * Cambia el ultimo elemento accedido */
public void set(E e) {
    if (antUltAcc!=-1) {
        contenido[proximo[antUltAcc]]=e;
    } else {
        throw new IllegalStateException();
    }
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Anade un nuevo e entre el previo y el proximo
 */
public void add(E e) {
    int nueva=pedirCelda(e);
    proximo[nueva]=proximo[previo];
    proximo[previo]=nueva;
    previo=nueva;
    antUltAcc=-1;
    lista.num++;
}
```

Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**
 * Metodo que retorna el iterador
 */
public ListIterator<E> listIterator() {
    return new IteradorListaCursores<E>(this);
}
```

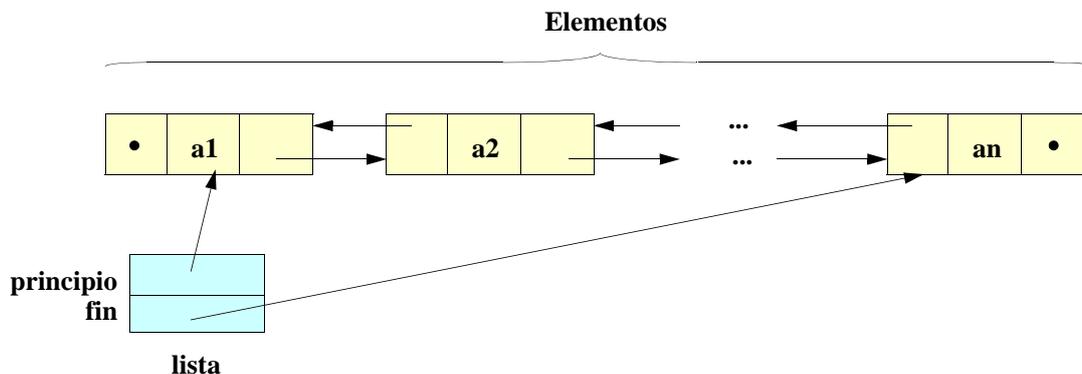
Implementación Java de la lista enlazada con cursores (cont.)

```
/**  
 * Metodo que retorna el iterador colocado  
 * en la posicion i  
 */  
public ListIterator<E> listIterator(int i) {  
    if (i >= 0 && i <= size()) {  
        return new IteradorListaCursosores<E>(this, i);  
    } else {  
        throw new IndexOutOfBoundsException();  
    }  
}
```

5.5. Listas doblemente enlazadas

En las listas enlazadas simples, las operaciones para acceder a la posición última y hacer retroceder al iterador son costosas ($O(n)$)

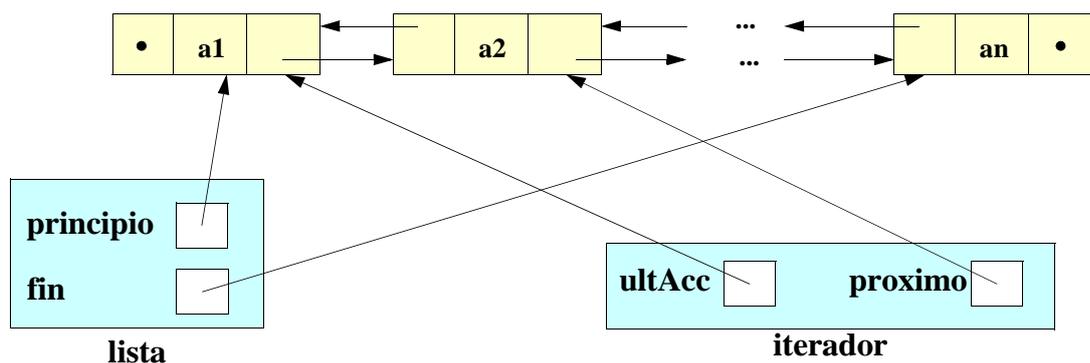
Para evitar este problema se pueden hacer listas doblemente enlazadas:



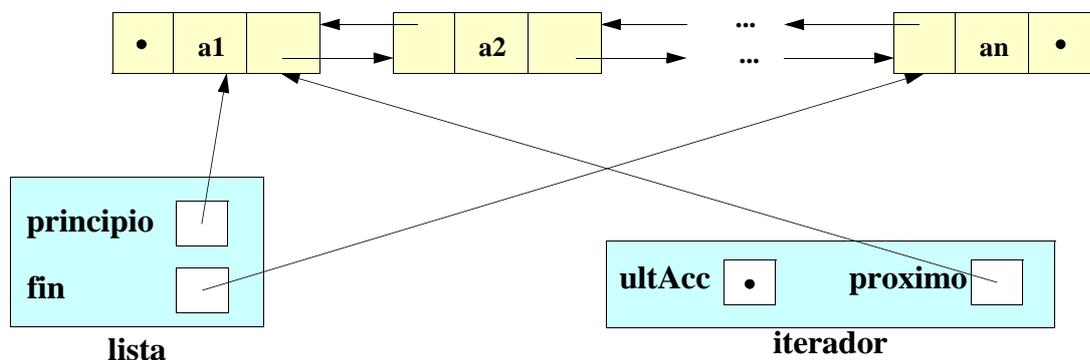
Iterador de la lista

El iterador de la lista contiene

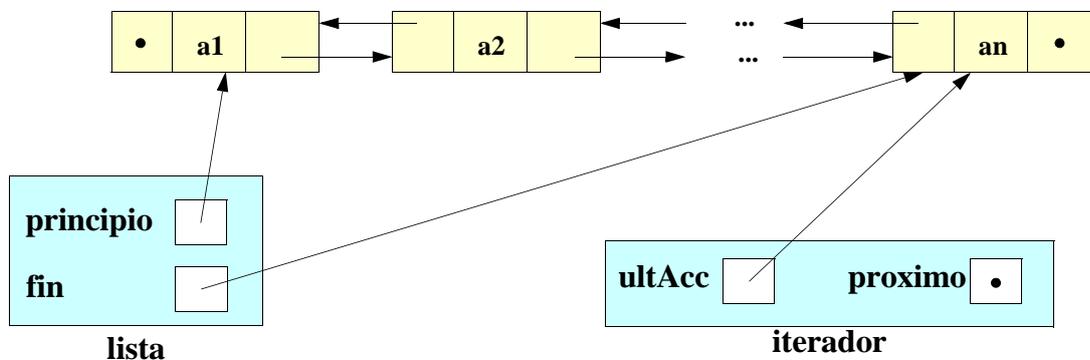
- **proximo**: un puntero al elemento proximo
- **ultAcc**: un puntero al último elemento accedido a través del iterador (con **proximo** o **previo**)



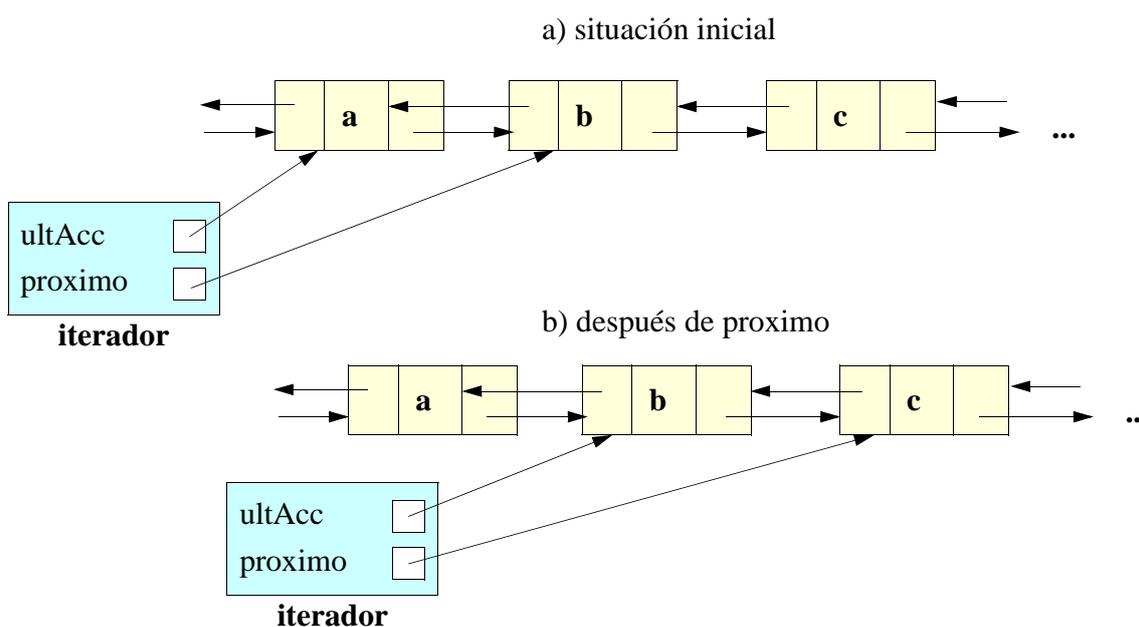
Situación inicial del iterador



Iterador al final de la lista



Avance del iterador: próximo



Avance del iterador: previo

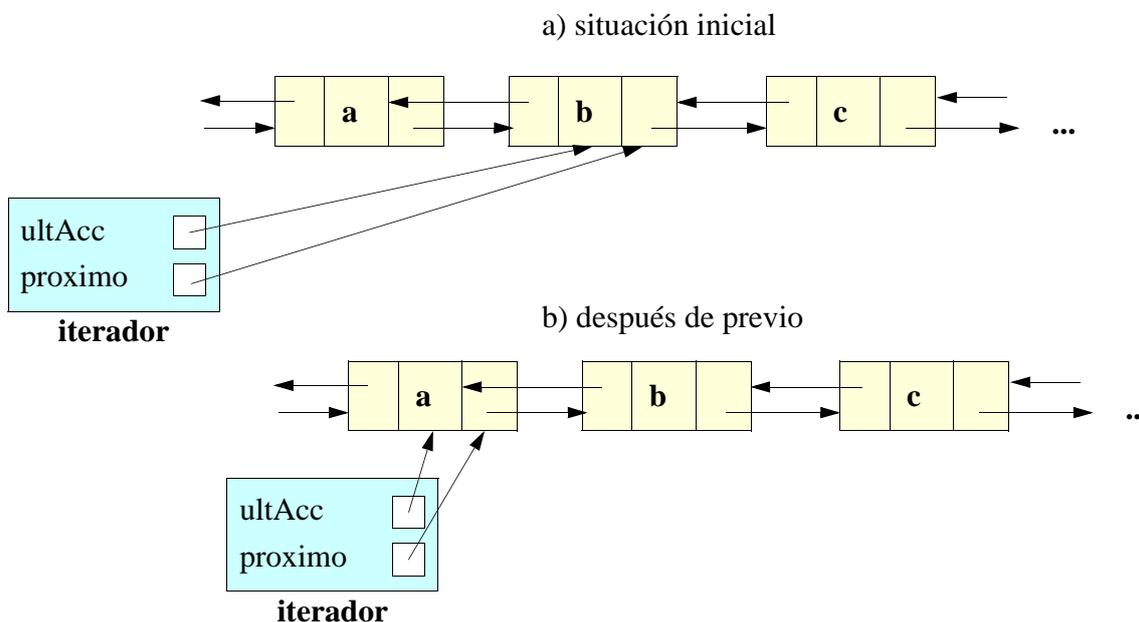


Diagrama de añade

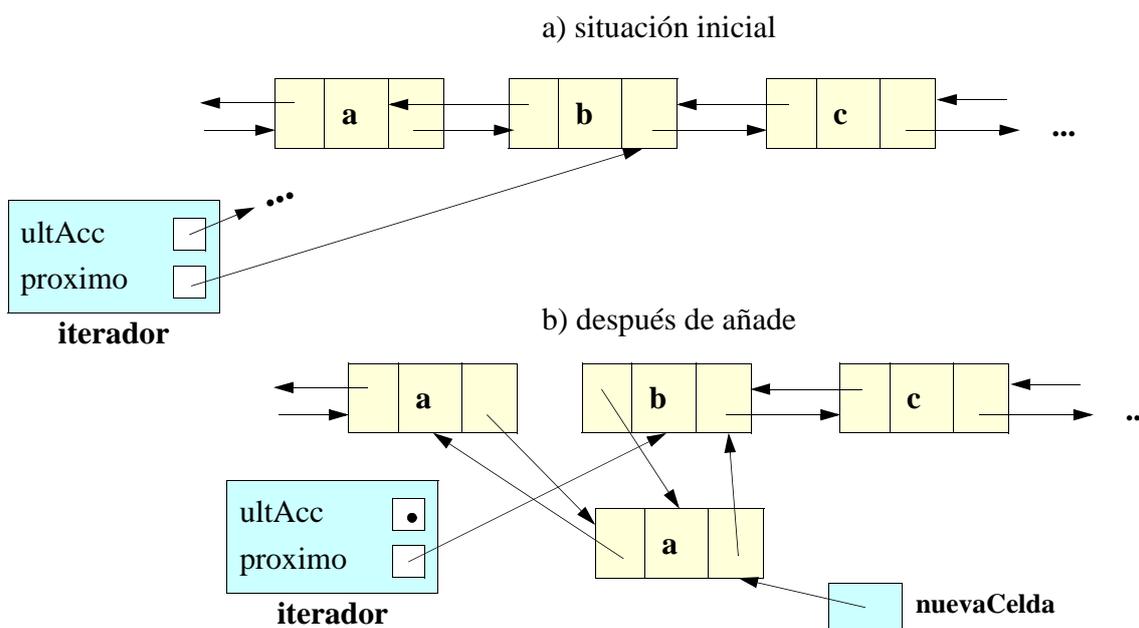


Diagrama de borra (después de próximo)

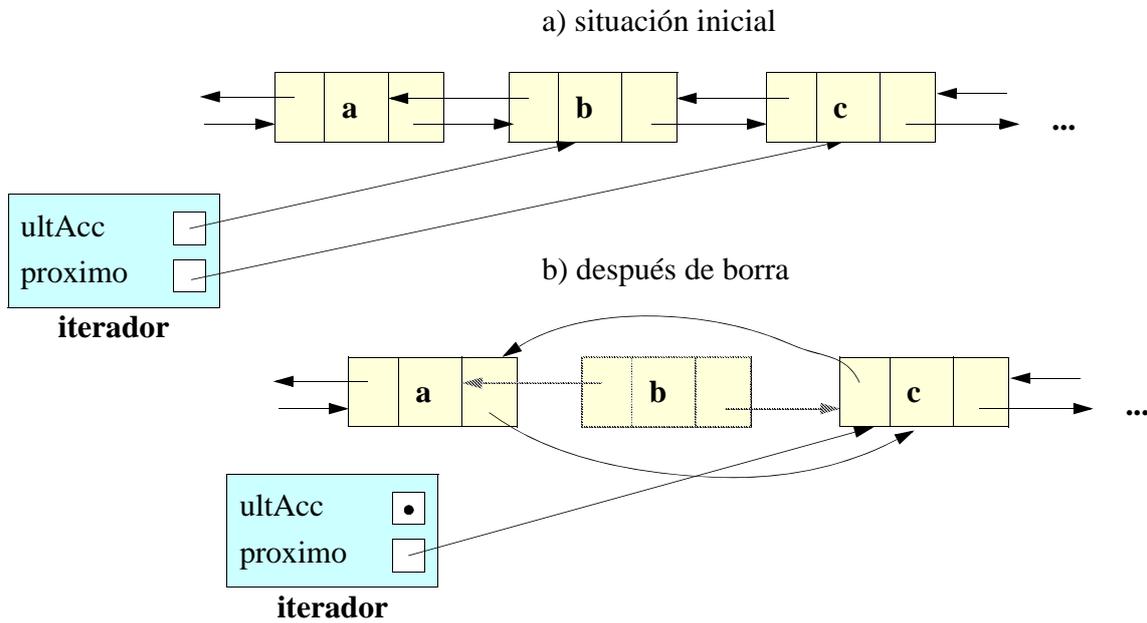
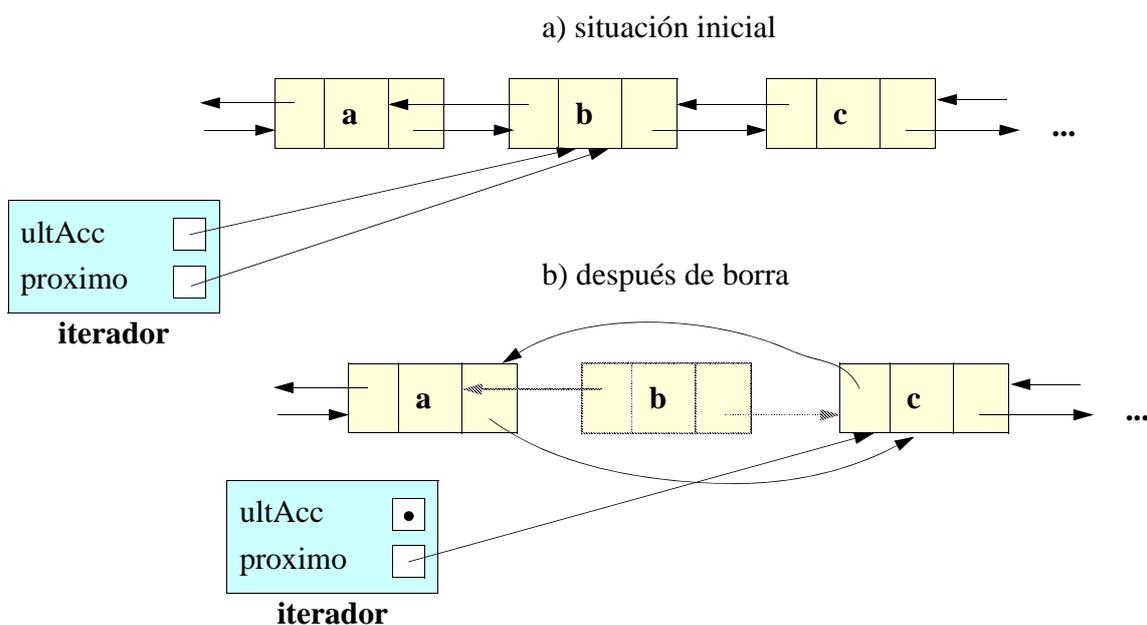


Diagrama de borra (después de previo)



Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas

```
import java.util.*;

/**
 * Clase que representa una lista implementada con
 * una lista doblemente enlazada
 */
public class ListaDoblementeEnlazada<E>
    extends AbstractSequentialList<E>
{
    // atributos privados
    private Celda<E> principio;
    private Celda<E> fin;
    private int num;
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
// clase privada que define la celda
private static class Celda<E> {
    E contenido;
    Celda<E> siguiente;
    Celda<E> anterior;

    Celda(E cont) {
        contenido=cont;
    }
}

/**
 * Constructor que crea la lista vacía
 */
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
public ListaDoblementeEnlazada()  
{  
    num=0;  
}  
/**  
 * Constructor que crea la lista vacía con los  
 * elementos de la colección c  
 */  
public ListaDoblementeEnlazada(Collection<E> c) {  
    this();  
    for (E e:c) {  
        add(e); // inserta al final  
    }  
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
/**  
 * Retorna el tamaño de la lista  
 */  
public int size() {  
    return num;  
}  
  
/**  
 * Añade al final  
 */
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
public boolean add(E e) {
    Celda<E> nuevaCelda=new Celda<E> (e);
    if (isEmpty()) {
        principio=nuevaCelda;
        fin=nuevaCelda;
    } else {
        fin.siguiete=nuevaCelda;
        nuevaCelda.anterior=fin;
        fin=nuevaCelda;
    }
    num++;
    return true;
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
/**
 * Clase iteradora de lista
 */
public static class
    IteradorListaDoblementeEnlazada<E>
    implements ListIterator<E>
{
    // atributos del iterador
    private Celda<E> proximo;
    private Celda<E> ultAcc;
    private ListaDoblementeEnlazada<E> lista;
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
/*
 * Constructores del iterador; no son públicos
 */
IteradorListaDoblementeEnlazada
    (ListaDoblementeEnlazada<E> lista)
{
    this.lista=lista;
    proximo=lista.principio;
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
IteradorListaDoblementeEnlazada
    (ListaDoblementeEnlazada<E> lista, int i)
{
    this(lista);
    if (i==lista.num) {
        proximo=null; // nos ponemos al final
    } else {
        // este bucle se podría optimizar empezando
        // por el final si i>num/2
        for (int j=0; j<i; j++) {
            next();
        }
        ultAcc=null;
    }
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
/**
 * Indica si hay elemento siguiente
 */
public boolean hasNext() {
    return proximo!=null;
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
/**
 * Obtiene el siguiente y avanza el iterador
 */
public E next() {
    if (hasNext()) {
        ultAcc=proximo;
        proximo=proximo.siguiete;
        return ultAcc.contenido;
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
/**
 * Indica si hay elemento previo
 */
public boolean hasPrevious() {
    return proximo!=lista.principio;
}

/**
 * Obtiene el elemento previo y
 * retrocede el iterador
 */
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
public E previous() {
    if (hasPrevious()) {
        if (proximo==null) {
            // estamos después del final
            proximo=lista.fin;
        } else {
            proximo=proximo.anterior;
        }
        ultAcc=proximo;
        return proximo.contenido;
    } else {
        throw new NoSuchElementException();
    }
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
/**
 * Obtiene el índice del elemento proximo
 */
public int nextIndex() {
    return previousIndex()+1;
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)



```
/**
 * Obtiene el índice del elemento previo
 */
public int previousIndex() {
    int ind=-1;
    Celda<E> actual=lista.principio;
    while (actual!=proximo) {
        actual=actual.siguiente;
        ind++;
    }
    return ind;
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
/**
 * Borra el ultimo elemento accedido
 */
public void remove() {
    if (ultAcc!=null) {
        if (ultAcc.anterior==null) {
            // borrando el primero
            lista.principio=ultAcc.siguiete;
        } else {
            ultAcc.anterior.siguiete=
                ultAcc.siguiete;
        }
        if (ultAcc.siguiete==null) {
            // borrando el ultimo
            lista.fin=ultAcc.anterior;
        }
    }
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
    } else {
        ultAcc.siguiete.anterior=
            ultAcc.anterior;
    }
    if (proximo==ultAcc) {
        proximo=ultAcc.siguiete;
    }
    ultAcc=null;
    lista.num--;
} else {
    throw new IllegalStateException();
}
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
/**
 * Cambia el ultimo elemento accedido
 */
public void set(E e) {
    if (ultAcc!=null) {
        ultAcc.contenido=e;
    } else {
        throw new IllegalStateException();
    }
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
/**
 * Anade un nuevo elemento entre el previo
 * y el proximo
 */
public void add(E e) {
    if (proximo==null) {
        //anade al final
        lista.add(e);
    } else {
        Celda<E> nueva=new Celda<E>(e);
        Celda<E> previo=proximo.anterior;
        nueva.siguiente=proximo;
        proximo.anterior=nueva;
        nueva.anterior=previo;
    }
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
        if (previo==null) {
            // insertar al principio
            lista.principio=nueva;
        } else {
            previo.siguiete=nueva;
        }
        lista.num++;
    }
    ultAcc=null;
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
/**
 * Metodo que retorna el iterador
 */
public ListIterator<E> listIterator() {
    return new
        IteradorListaDoblementeEnlazada<E>(this);
}
```

Implementación en Java de las listas doblemente enlazadas (cont.)

```
/**
 * Metodo que retorna el iterador colocado
 * en la posicion i
 */
public ListIterator<E> listIterator(int i) {
    if (i>=0 && i<=size()) {
        return new
            IteradorListaDoblementeEnlazada<E>(this,i);
    } else {
        throw new IndexOutOfBoundsException();
    }
}
```