Estructuras de Datos
Clase 22 – Ordenamiento externo

Dr. Sergio A. Gómez
http://cs.uns.edu.ar/~sag

Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación
Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca, Argentina

Temario

- Serialización
- Archivos:
  - Secuenciales
  - Directos (de acceso aleatorio)
  - indexados (indizados)
- Estructuras aptas para implementar archivos indexados: Árboles B

Persistencia con Serialización

- La serialización implica salvar el estado actual de un objeto en un stream y luego poder recuperar el objeto equivalente de tal stream.
- Para poder hacer esto las clases deben implementar la interfaz java.io.Serializable (que no tiene métodos)

```
import java.io.Serializable;

public class NombreClase implements Serializable {



}
```

Ejercicio

- Crear una lista de enteros conteniendo [1,2,3,4,5] y serializarla en un archivo llamado lista.dat.
- Modificaciones requeridas a las implementaciones previas:

```
public class DNode <E> implements Position<E>,
java.io.Serializable {  ...  }
```

```
public class DoubleLinkedList <E> implements PositionList<E>,
java.io.Serializable {  ...  }
```

```java
import java.io.*;
public class SerializarLista {
public static void main( String [] args ) throws FileNotFoundException, IOException  {
        PositionList<Integer> lista = new DoubleLinkedList<Integer>();
        lista.addLast( 1 );    lista.addLast( 2 );    lista.addLast( 3 );    lista.addLast( 4 );
        lista.addLast( 5 );

        // Creo un objeto de tipo archivo para almacenar la lista:
        File fileName = new File( "lista.dat" );    //FileNotFoundException

        // Abrir un manejador de archivo para solo escritura:
        ObjectOutputStream output =
                new ObjectOutputStream( new FileOutputStream( fileName ) );

        // Escribir la lista en el stream de objetos output (IOException):
        output.writeObject( lista );
        // Flush fuerza la escritura de cualquier contenido que
        // haya quedado en el buffer del archivo.
        output.flush();
        // Cierro el archivo.
        output.close();
    }
}
```

Ejercicio

- Recuperar la lista de enteros serializada en el archivo lista.dat e imprimir su contenido

```
import java.io.*;
public class RecuperarLista {
public static void main( String [] args )
            throws FileNotFoundException, IOException, ClassNotFoundException,
            InvalidPositionException, BoundaryViolationException  {
DoubleLinkedList<Integer> lista;  // Este objeto va a almacenar un objeto leido del archivo
// Puede producir FileNotFoundException:
File fileName = new File( "lista.dat" );   // Nombre del archivo
// Abrir un file handle para solo lectura:
ObjectInputStream input = new ObjectInputStream( new FileInputStream(fileName) );
// Leo la única lista que está en el archivo:
// Puede producir IOException o  ClassNotFoundException:
// Compilar con java RecuperarLista.java -Xlint:unchecked,  Produce warning.
lista = (DoubleLinkedList<Integer>) input.readObject();
input.close();          // Cierro el archivo:

// Imprimo la lista:
Position<Integer> p = lista.first(), ultima = lista.last();          System.out.print( "[" );
while( p != null ) {    System.out.print( p.element() );
            if( p == ultima ) { System.out.print( "]" ); p = null;              }
            else {   System.out.print( ", " ); p = lista.next(p);  }
}
} /* end main */      }  /* end class */
```

Archivos de registros secuenciales

- La tabla representa una secuencia de registros (records) almacenados en disco con el nombre *agenda.dat*.
- Cada registro (o fila) almacena dos datos (nombre y número de teléfono).
- Los registros se acceden secuencialmente (del primero al último).

Name	Phone
Sergio	15-111-1111
Martin	15-222-2222
Matias	15-333-3333
Carlos	15-444-4444
Marta	15-555-5555
Pablo	15-666-6666
Tito	15-777-7777
Maria	15-888-8888
Juana	15-999-9999

Clase Registro

```
import java.io.Serializable;

public class Record implements Serializable {

  private String name;
  private String phone;

  public Record(String n, String p) {
    name = n;
    phone = p;
  }

  public Record() { this ("", ""); }

  public void setName(String n) { name = n; }
  public void setPhone(String p) { phone = p; }
  public String getName() { return name; }
  public String getPhone() { return phone; }
}
```

Creación de la agenda

```
import java.io.*;

public class GenerarArchivoSecuencial {
  public static void main(String [] args) {
    Record r1 = new Record( "Sergio", "15-111-1111" );
    Record r2 = new Record( "Martin", "15-222-2222" );
    Record r3 = new Record( "Matias", "15-333-3333" );
    Record r4 = new Record( "Carlos", "15-444-4444" );
    Record r5 = new Record( "Marta",  "15-555-5555" );
    Record r6 = new Record( "Pablo",  "15-666-6666" );
    Record r7 = new Record( "Tito",   "15-777-7777" );
    Record r8 = new Record( "Maria",  "15-888-8888" );
    Record r9 = new Record( "Juana",  "15-999-9999" );
```

```
try {
    File fileName = new File( "agenda.dat" );

     //Abrir un manejador de archivo para solo escritura:
     ObjectOutputStream output =
           new ObjectOutputStream( new FileOutputStream( fileName ));

    // Escribir los nueve registros en el archivo output:
   // Puede lanzar  excepciones InvalidClassException o NotSerializableException
   output.writeObject( r1 );        output.writeObject( r2 );        output.writeObject( r3 );
   output.writeObject( r4 );        output.writeObject( r5 );        output.writeObject( r6 );
   output.writeObject( r7 );        output.writeObject( r8 );        output.writeObject( r9 );
   output.writeObject( null ); // Grabo marca personal de fin de archivo.

  // Flush fuerza la escritura de cualquier contenido que haya quedado en el buffer del
  // archivo.
  output.flush();
  output.close(); /* Cierro el archivo. */
} catch (InvalidClassException icex) {       System.out.println("Clase invalida");
} catch (NotSerializableException nsex) {   System.out.println("El objeto no es
serializable");
} catch (IOException e) { System.out.println("Problema al hacer flush o cerrar");   }
}
}
```

Lectura del archivo

```
import java.io.*;
public class LeerArchivoSecuencial {
public static void main( String [] args ) {
Record r;  // Este objeto va a almacenar un objeto leido del archivo
File fileName = new File( "agenda.dat" ); // Nombre del archivo

// Abrir un file handle para solo lectura:
ObjectInputStream input = new ObjectInputStream( new FileInputStream(fileName) );
r = (Record) input.readObject();
while ( r != null ) {
		System.out.println( r.getName() + "; " + r.getPhone() );
		r = (Record) input.readObject();
}
// Cierro el archivo:
input.close();
} catch (EOFException eofex) { System.out.println( "No hay mas registros para leer" );
} catch (ClassNotFoundException cnfex) { System.out.println( "No pude crear el objeto" );
} catch (IOException e ) { System.out.println( "Incapaz de cerrar archivo" );      }
}
}
```

Archivos de acceso directo

- Los archivos de acceso directo (*RandomAccessFile*) permiten:
  - leer los registros de un archivo en cualquier orden
  - Modificar un registro cualquiera sin necesidad de reescribir todo el archivo
  - Agregar un registro nuevo al final del archivo
- Tendremos una operación más que se llama *seek* que recibe el número de byte (llamado *offset* o desplazamiento) al que hay que mover el puntero de archivo para realizar la próxima operación de lectura o escritura.
- Para utilizar seek es necesario conocer el tamaño del registro del archivo subyacente. Ej. Para ir al registro número R, el offset debe ser R*S, donde S es el tamaño en bytes del registro y ejecutar: archivo.seek(R*S).

Archivos Indizados (o indexados)

- Los archivos indexados tienen un orden virtual determinado por el ordenamiento de una clave (en nuestro ejemplo, el nombre de la persona, asumiendo no repetidos).
- Implementación: Por cada tabla, hay al menos dos archivos:
  - Un archivo de datos donde cada registro tiene tamaño fijo
  - Un archivo de índice: Un mapeo de clave en número de registro (contiene además la cantidad de registros del archivo de datos)
  - Cada clave extra de búsqueda requiere otro índice (pero no otro archivo de datos, ej: buscar/ordenar alumnos por legajo, dni, nombre, etc).
- Ver código EjemploArchivoIndizado.zip.

Implementaciones para el índice

- Arreglo ordenado
  - Búsqueda en orden logarítmico
  - Actualizaciones implican reordenar el arreglo en orden nlog(n)
- Árbol binario de búsqueda:
  - Puede degenerar en orden lineal para buscar y actualizar pero se espera orden logarítmico
- AVL, 2-3:
  - Buscar y actualizar en orden logarítmico
- Árbol B y B+
  - Para grandes volúmenes de datos las opciones anteriores no son viables ya que no entran en RAM y el acceso al disco es del orden de los milisegundos contra el acceso a la RAM que es del orden de los nanosegundos
  - El árbol B generaliza la idea del árbol 2-3 con un gran número M de claves en cada nodo
  - El árbol B+ almacena entradas (clave,valor) sólo en las hojas, los nodos internos almacenan solo claves que sirven para guiar la búsqueda.

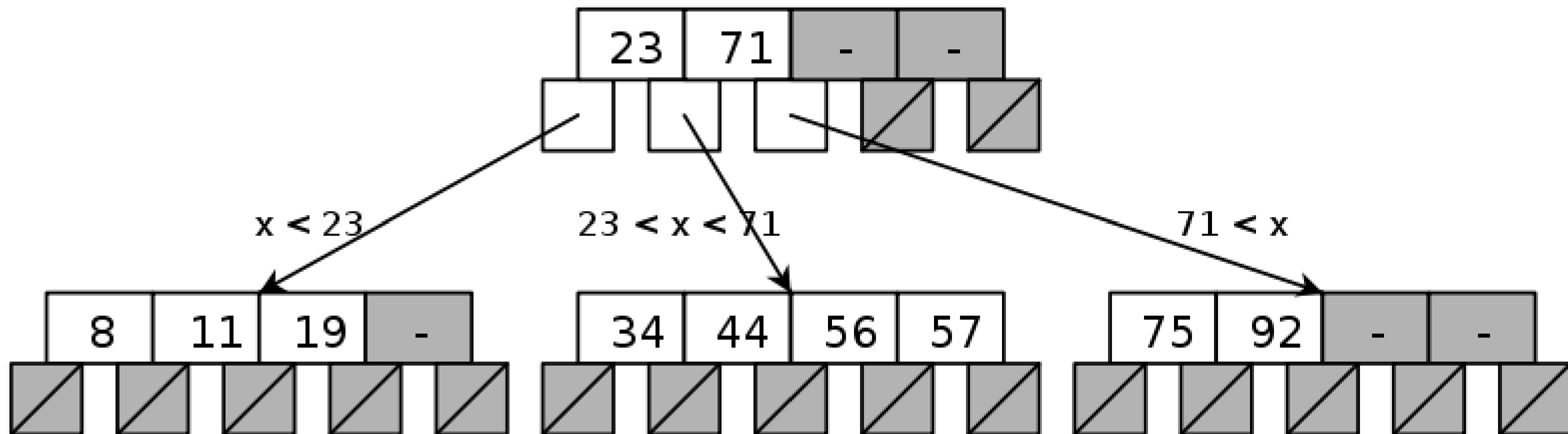
Árbol B

- Un árbol-B (B-tree) es un árbol balanceado (o auto-balanceante) que mantiene los datos ordenados y permite realizar búsquedas, inserciones y eliminaciones en tiempo logarítmico.
- Se puede ver también como una generalización del árbol 2-3 porque sus nodos pueden tener más de tres hijos.
- A diferencia de los árboles 2-3, el árbol-B está optimizado para sistemas que leen y escriben grandes bloques de datos.
- Los árboles-B son un buen ejemplo de una estructura de datos para memoria externa y se usan comunmente en bases de datos y sistemas de archivos.

Arboles B (o M-arios de búsqueda)

- Los árboles B se optimizan para manejar grandes volúmenes de datos.
- Los árboles B se almacenan en disco y el tamaño del nodo coincide con un múltiplo entero del tamaño del sector del disco.
- Se utilizan para implementar índices en bases de datos.
- El grado de ramificación d del árbol es un entero, indicando que un nodo tiene entre d y 2d claves y entre d+1 y 2d+1 hijos (excepto la raíz que puede tener menos de d claves y tiene por lo menos 1 clave y 2 hijos).
- Cuando d=1 tenemos un árbol 2-3.
- Dependiendo de la formalización, al número 2d+1 se lo llama M (i.e. tenemos M-1 claves y M hijos a lo sumo por nodo; en un árbol 2-3, M vale 3)

Árbol B



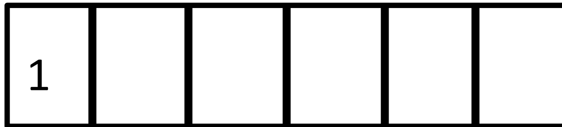
El tiempo de búsqueda, inserción y eliminación es en tiempo logarítmico puesto que es del orden de la altura del árbol.
Si d=1000, cada nodo tiene d claves y d+1 hijos por lo menos, entonces la altura del árbol es del orden $\log_d(n)$ con n = cantidad de claves del árbol.
Ej: si d=1.000 y n=1.000.000, entonces $\log_d(1.000.000)$=3 lecturas.
Generalmente hay espacio desperdiciado en los nodos (i.e. fragmentación interna).

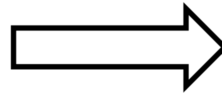
Árboles B: Inserción

- Comenzamos con un nodo vacío (el cual funciona como un arreglo ordenado).
- Las claves se insertan (en forma lineal y ordenada) en el nodo hasta tener a lo sumo 2d=m-1 claves.
- Luego, al insertar la siguiente clave, el nodo rebalsa.
- El nodo se parte en dos (cada uno con d claves) y la clave del medio va al nodo de arriba (incrementando la altura del árbol cuando tal nodo de arriba no existiera).

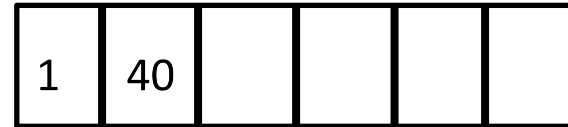
Supongamos que d=3, entonces tendremos entre d=3 y 2d=6 claves por nodo excepto la raíz que puede tener menos claves (es decir, M=2d+1=7, el B-árbol es de orden 7) y siempre el número de hijos de un nodo es uno más que su cantidad de claves. Insertemos las claves 1, 40, 5, 3, 45, 8, 9.

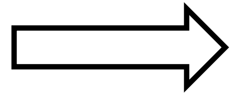
Inserto 1:



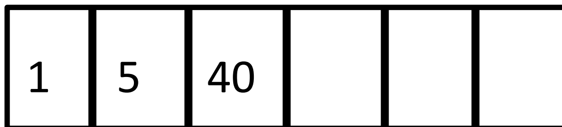


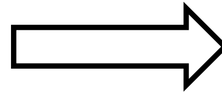
Inserto 40:



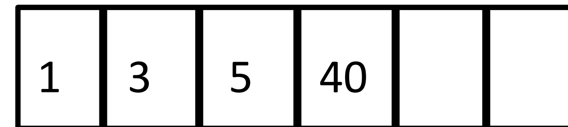


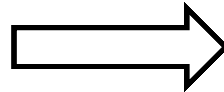
Inserto 5 (hago shift):



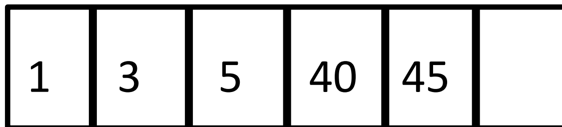


Inserto 3 (hago shift):

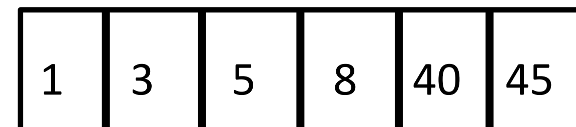


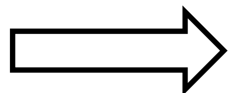


Inserto 45:



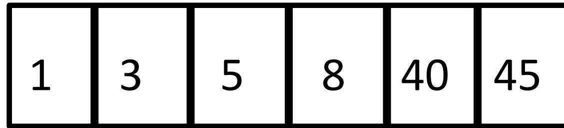
Inserto 8:

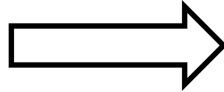




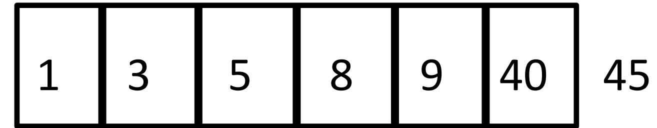
La próxima inserción, es decir la del 9, producirá un rebalse porque el nodo ya está lleno.

Estado antes de insertar 9:

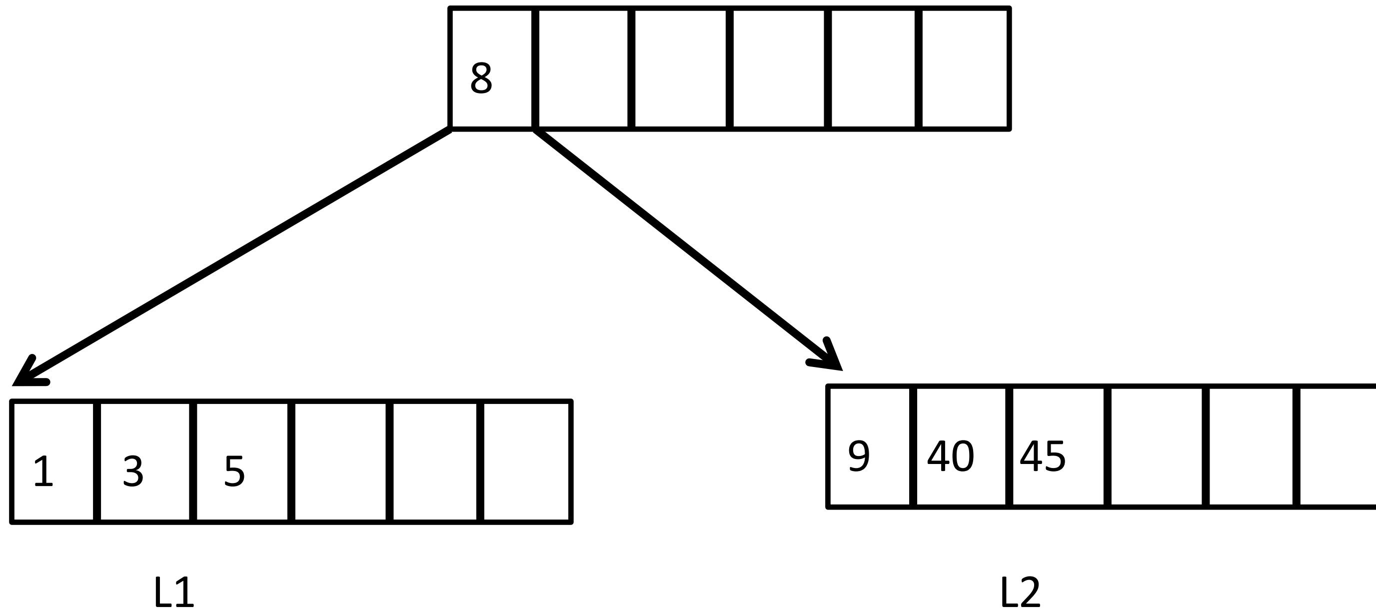




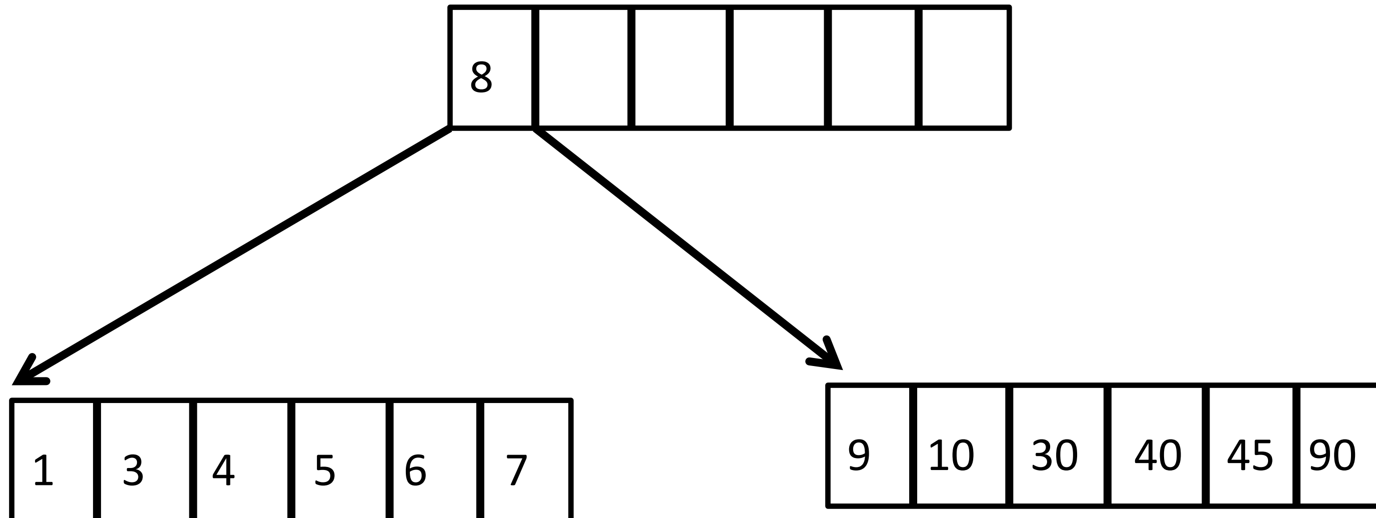
Al insertar 9, ¡se produce un rebalse!



Entonces partimos el nodo L en L1 y L2 y creamos un nodo más arriba con L1 y L2 como hijos y como clave la clave del medio de L considerando también al 9, que en este caso será el 8:

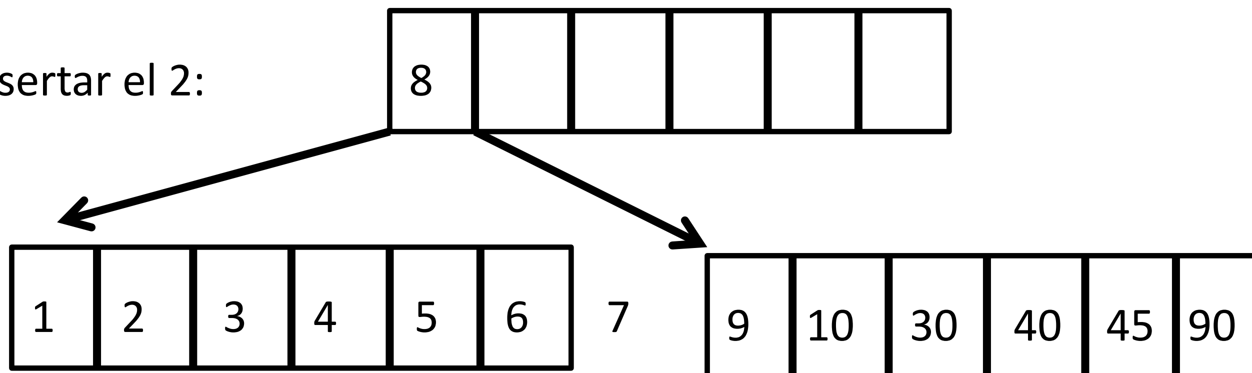


Las inserciones se hacen siempre en las hojas siguiendo el orden de las claves.
Para insertar una clave, habrá que ver si es menor o mayor a la clave de la raíz.
Insertar 10, 4, 30, 7, 6, 90 produce el árbol:

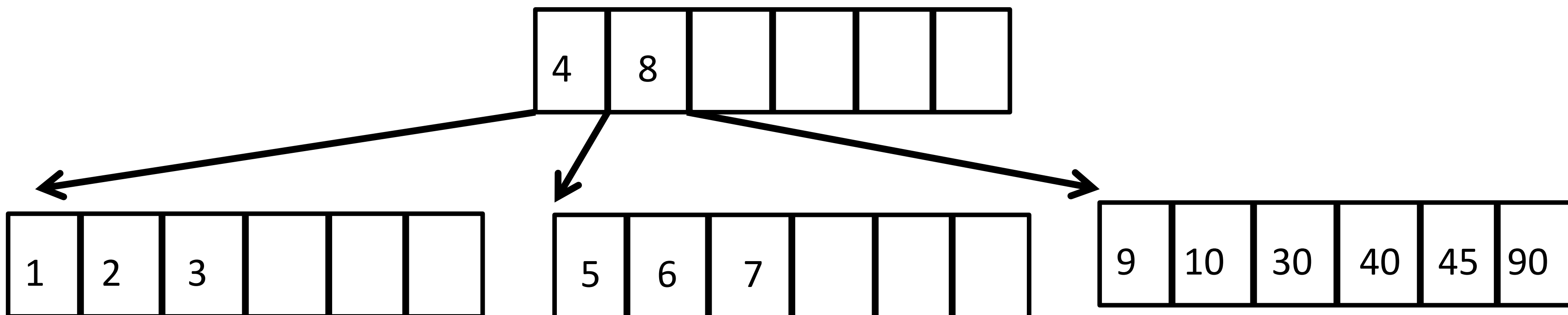


¡Insertar el 2 producirá un rebalse en la hoja de la izquierda!

Estado al insertar el 2:

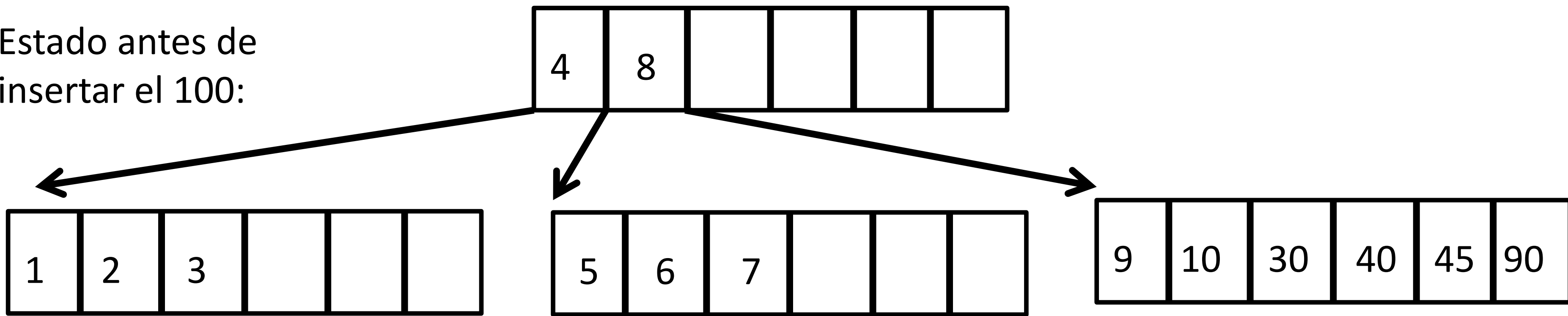


Rebalsó el 7, vamos a partir nodo reabalsado en dos y mandar la clave del medio (es este caso 4) al padre:

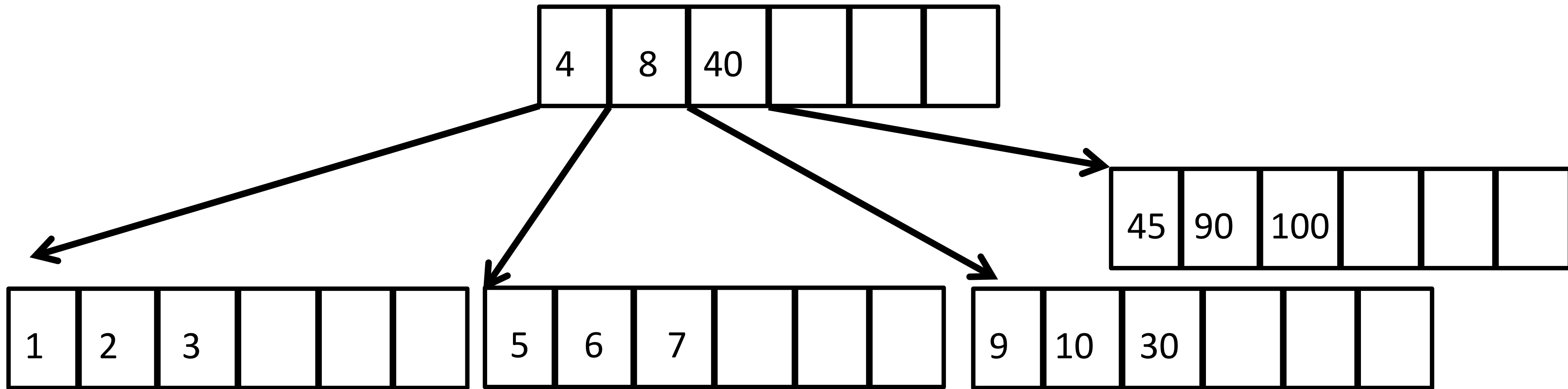


Insertar 100 producirá un rebalse en la hoja de más a la derecha.
El espacio desperdiciado en los arreglos constituye la *fragmentación interna (espacio de memoria desperdiciado dentro de las estructuras de datos)*.

Estado antes de insertar el 100:



Al insertar el 100, como 100 > 8, va hacia la hoja de más a la derecha, que rebalsa. Entonces la partimos y subimos la clave del medio (en este caso el 40):

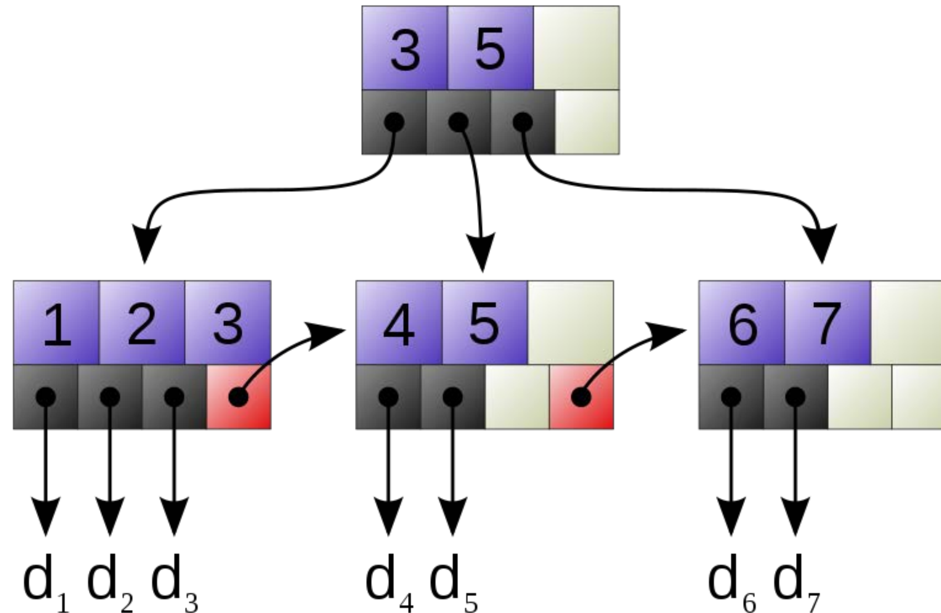


Este proceso continúa hasta que los rebalses sucesivos en las hojas van llenando la raíz del árbol. En el siguiente rebalse, se partirá la raíz en 2 y se crea una nueva raíz haciendo crecer el árbol en un nivel.

Árboles B: Búsqueda de k

- Buscamos a k en el nodo raíz. Si lo encontramos, termino con éxito.
- Si k no está en la raíz, seguimos buscando en el hijo entre las dos claves k_i y k_{i+1} del nodo tales que $k_i \leq k \leq k_{i+1}$.
- El proceso falla cuando llegamos a una hoja y no encontramos a k.
- Ej: Para buscar el 6, hay que ramificar en el hijo que está entre las claves 4 y 8.

Variante del árbol B: Árbol B+



El árbol B+ almacena entradas (clave,valor) sólo en las hojas, los nodos internos almacenan solo claves que sirven para guiar la búsqueda.

Ejemplo: 3 en la raíz indica la mayor clave del primer hijo del siguiente nivel.

5 en la raíz indica la mayor clave del segundo hijo del siguiente nivel.

d_1, d_2, d_3, d_5, d_6, d_7 corresponden a los valores de las entradas para las claves 1,2,3,4,5,6,7 (usualmente punteros al archivo de datos).