Universidad de Granada

decsai.ugr.es

Fundamentos de Bases de Datos

Grado en Ingeniería Informática

Tema 4: Nivel interno

DECSAI

Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial

Base de datos

- Sirven para almacenar de forma permanente grandes cantidades de datos.
- Propósito principal: gestionar de forma eficiente los datos y su almacenamiento.
- Implica consecuencias tanto en la organización lógica de los datos, como en su organización física.

Nivel interno

- Expresa en última instancia, las operaciones sobre los datos (creación, alteración y recuperación) en términos de actuación sobre unidades mínimas de almacenamiento denominadas páginas o bloques de base de datos.

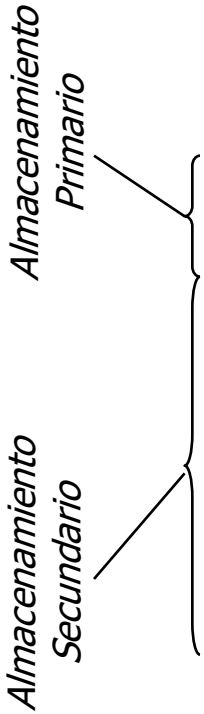
- Provee al administrador de mecanismos para optimizar el almacenamiento y el acceso a los datos.

- Se encuentra implementado en el SGBD.

Nivel físico

- Se encuentra implementado en el sistema operativo.
- Proporciona al SGBD una capa de abstracción sobre el hardware.
- Realiza el acceso a los medios de almacenamiento mediante llamadas a los servicios del sistema de archivos proporcionado por el SO.

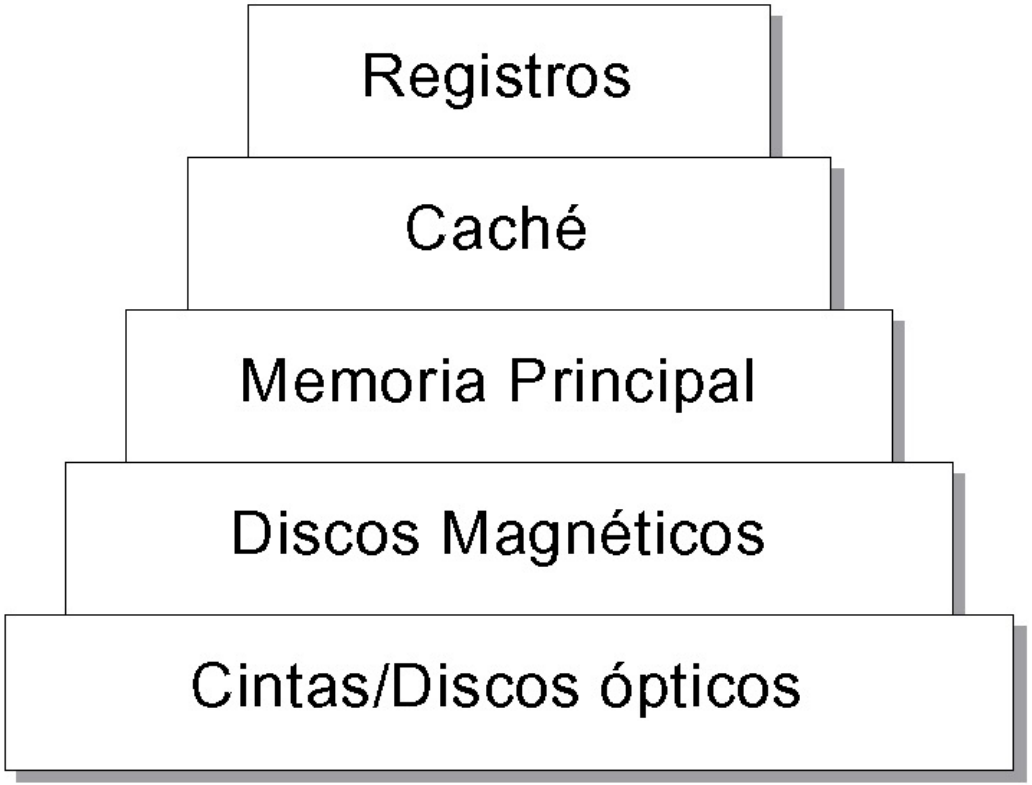
Características



Tipo Almacenamiento	Velocidad Acceso (ms)	Coste $(\$/Mb)$	Capacidad (Mb)	Características.
Caché	10^{-6}	10	0-10	Volátil
Memoria Principal	10^{-5}	0.1	$0 - 10^4$	Volátil
Memoria Flash	10^{-4}	0.5-1	$0 - 10^4$	No Volátil
Discos magnéticos	5-10	10^{-3}	$10^4 - 10^5$	No volátil Acceso directo
Disquetes	> 150	0.1	$1 - 10^2$	No volátil
Discos ópticos	80-150	$.5\ 10^{-3}$	$10^2 - 10^4$	Acceso directo No volátil
Cintas magnéticas	> 1000	10^{-3}	$10^2 - 10^6$	No volátil Acceso secuencial

Tabla comparativa de los distintos medios de almacenamiento

Jerarquía



- menor coste
- mayor capacidad
- mayor tiempo acceso

Memoria principal

- Es el dispositivo de almacenamiento primario de los ordenadores.
  - Hace trabajos de caché de la porción de la BD de uso más reciente.
  - Elemento de almacenamiento intermedio que ubica de forma temporal los datos afectados por las operaciones.

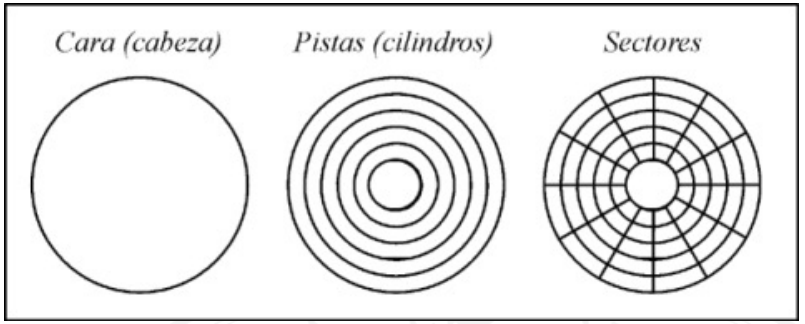
- Como es rápida y cara (preciada), el nivel interno debe optimizar su uso para acelerar el procesamiento de los datos.

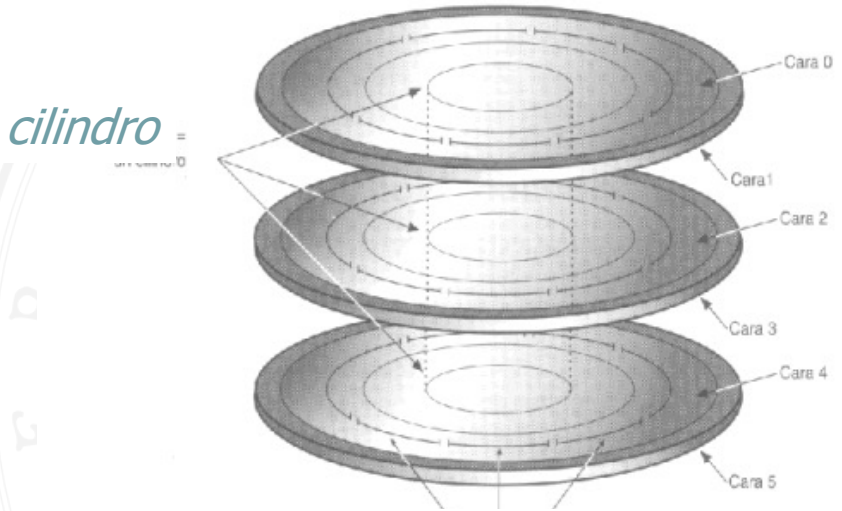
- Es volátil (su información se pierde con las caídas del sistema): El nivel interno debe garantizar que dicha información tenga un respaldo en almacenamiento secundario para evitarlo.

- Tanto el disco duro como la memoria principal utilizan distintos niveles de caché para acelerar el acceso a los datos.

Discos duros

- Dispositivo de almacenamiento más usado en BD.
- Constituidos por un conjunto de discos magnéticos con dos caras.
- Cada cara tiene un conjunto de pistas concéntricas (cilindro: la misma pista de todas las caras).
- Cada pista se divide en sectores con la misma capacidad de almacenamiento (bloque).
- Localización de un bloque:
  - Cilindro.
  - superficie de disco.
  - Sector.
- Parámetros:
  - Capacidad.
  - Tiempo medio de acceso.
  - RPM.
  - Velocidad sostenida de lectura/escritura.



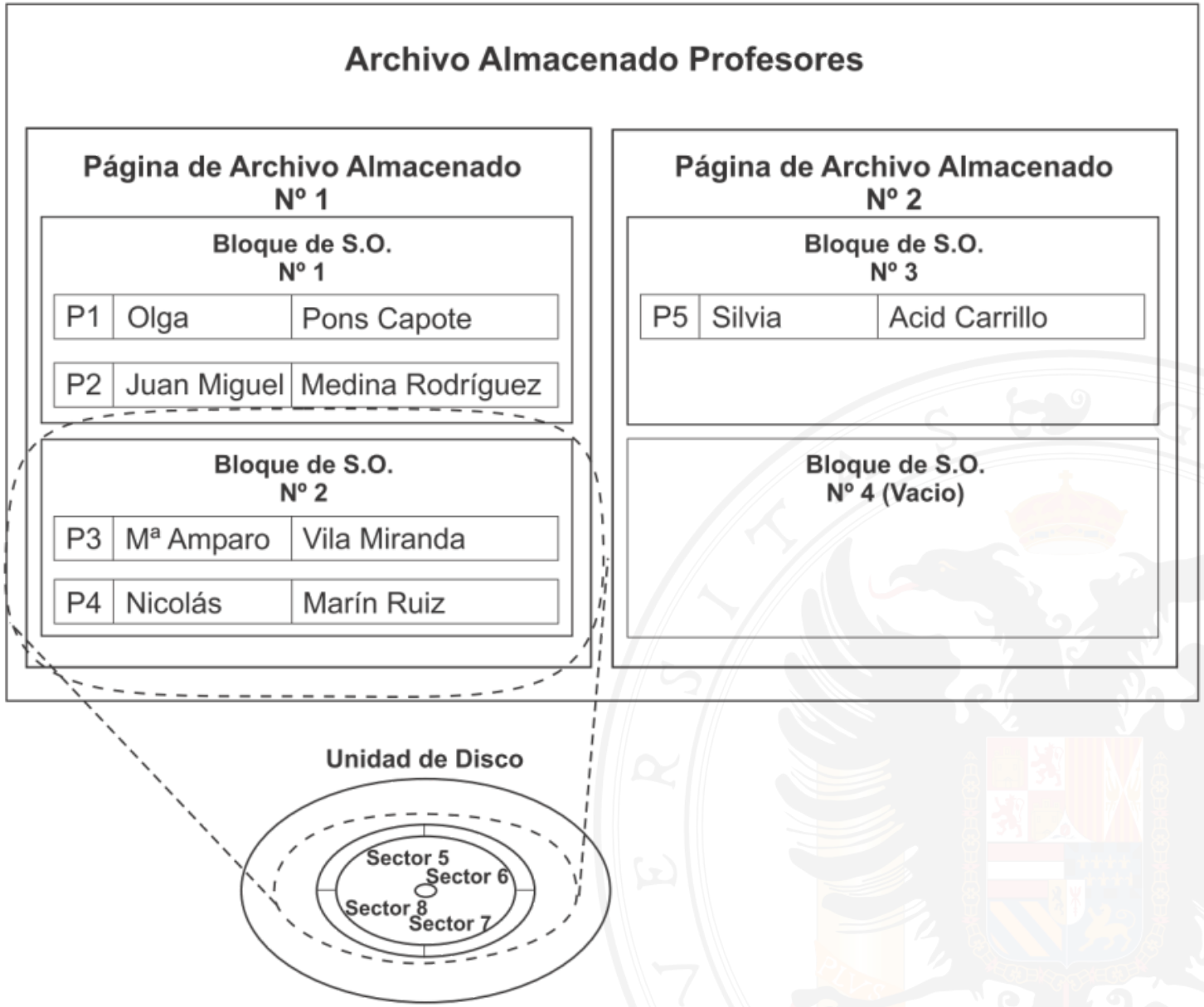


Discos duros: Medidas de rendimiento

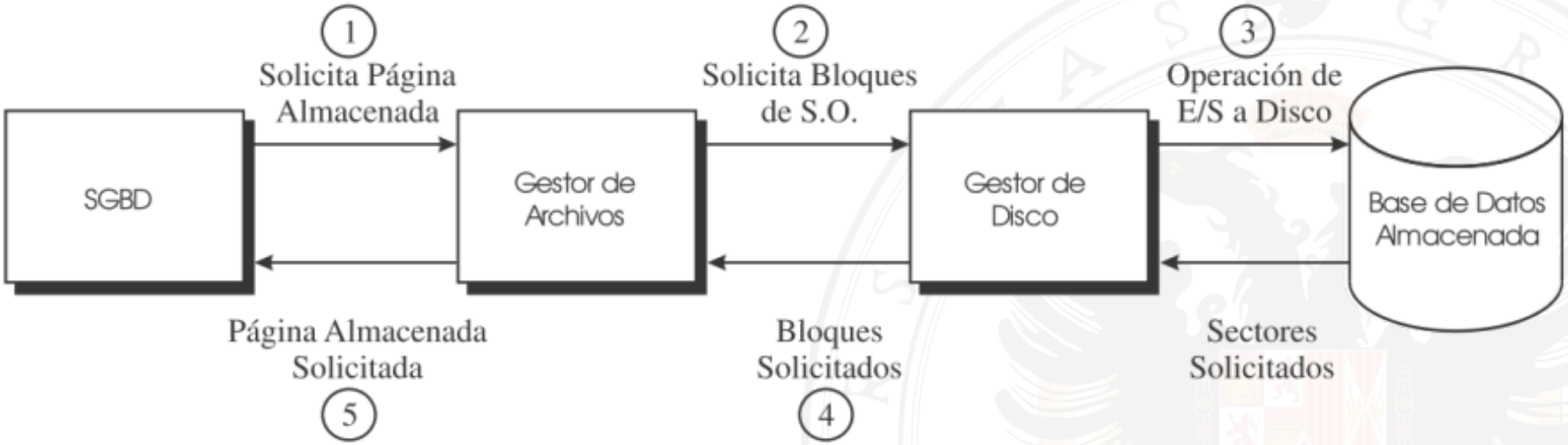
- Tiempo medio de acceso (ta): tiempo medio transcurrido entre una instrucción y la obtención de la información.
- Tiempo medio de búsqueda (tb): tiempo medio de posicionamiento en pista.
- Tiempo de latencia rotacional (tl): tiempo medio de posicionamiento en sector.

$$ta = tb + tl$$

- Tiempo medio entre fallos (MTBF).

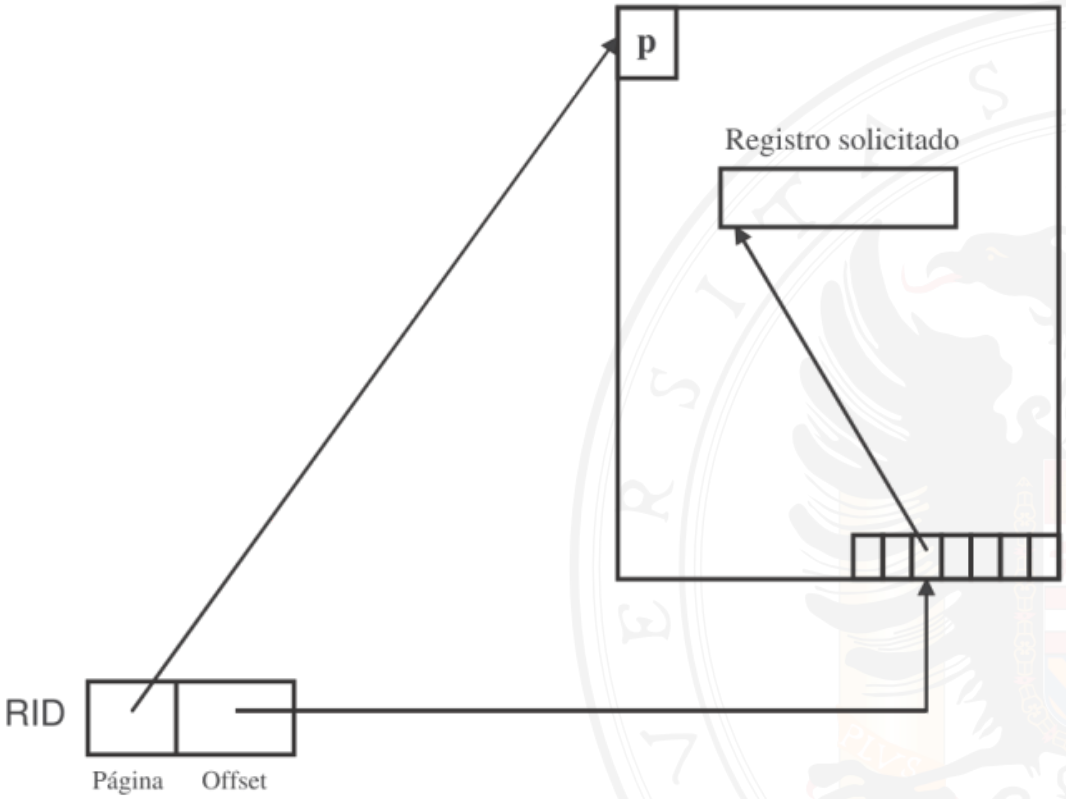

Archivo Almacenado Profesores
Página de Archivo Almacenado Nº 1
Bloque de S.O. Nº 1
P1 Olga Pons Capote
P2 Juan Miguel Medina Rodríguez
Bloque de S.O. Nº 2
P3 Mª Amparo Vila Miranda
P4 Nicolás Marín Ruiz
Página de Archivo Almacenado Nº 2
Bloque de S.O. Nº 3
P5 Silvia Acid Carrillo
Bloque de S.O. Nº 4 (Vacio)
Unidad de Disco
Sector 5
Sector 6
Sector 8
Sector 7

- ¿Cómo se transforma un registro almacenado en una representación física en el almacenamiento secundario? (mediante acceso directo)



- Para que el gestor de almacenamiento pueda localizar un registro almacenado, se utiliza el RID (Record IDentifier):

  - Almacena el número de página y un puntero a la posición de comienzo del registro en la página.



- Cada registro almacenado se compone de:
  - Cabecera: Número y tipo de columnas que lo integran.
  - Datos: Contenido de las columnas.

- Las páginas o bloques de la BD deben tener un tamaño múltiplo de las páginas del sistema operativo (mínima unidad de E/S).

- Para recuperar un registro almacenado hay que determinar la página de BD que lo contiene y entonces recuperar los bloques de disco que la integran.

- Hay que organizar la estructura de almacenamiento y los métodos de acceso, de forma que se optimice la interacción con los dispositivos de almacenamiento secundario.

- Deben minimizarse las operaciones de E/S al almacenamiento secundario.

Gestor de disco del SO

- Normalmente el SGBD interactúa con la BD almacenada en el sistema de almacenamiento secundario a través del gestor de disco del SO.
- El gestor de disco organiza los datos en conjuntos de bloques o archivos de SO.
- Una BD puede valerse de uno o varios de estos archivos para almacenar su contenido.
- También se encarga de gestionar el espacio libre en el disco.

Funciones del gestor de disco del SO

- Crear un nuevo archivo de sistema operativo.
- Eliminar un archivo de sistema operativo existente.
- Añadir un bloque nuevo al conjunto de bloques c.
- Eliminar el bloque b del conjunto de bloques c.
- Devolver el bloque b del conjunto de bloques c.
- Reemplazar el bloque b dentro del conjunto de bloques c.

El gestor de archivos del SGBD

- Componente del SGBD que se encarga de:
  - Hacer la transformación entre:
    - Campos, registros y archivos almacenados y bloques y conjuntos de bloques que pueda entender el gestor de disco.
  - Organizar los datos de manera que se minimice el tiempo de recuperación. Minimizar las E/S a disco.

Funciones del gestor de archivos del SGBD (I)

- Crear un nuevo archivo almacenado:
  - Asociar al archivo un conjunto de páginas o bloques de la BD.
- Eliminar un archivo almacenado.
- Recuperar el registro almacenado r del archivo almacenado a:
  - Normalmente, el SGBD proporciona el RID.
  - Sólo hay que obtener en memoria la página que contiene el registro para extraerlo.
- Añadir un nuevo registro almacenado al archivo almacenado a. Hay que localizar la página de BD más apropiada de las pertenecientes al archivo almacenado:
  - Si no se pudiera, se solicita una nueva página.
  - Se devuelve al SGBD el RID nuevo.

Funciones del gestor de archivos del SGBD (II)

- Eliminar el registro r del archivo almacenado a:
  - Hay que recuperar la página de BD que contiene dicho registro y marcar el espacio ocupado por el registro en dicha página como disponible.
- Actualizar el registro r en el archivo almacenado a:
  - Recupera la página de la BD que contiene el registro que se desea actualizar.
  - Trata de sustituir la información. Si no puede, se intenta ubicar en otra página.

La BD se representa de diferentes formas en los diferentes niveles de la arquitectura del SGBD

- Su representación en el nivel interno no tiene porqué coincidir con su representación en el nivel conceptual.
- Cada conjunto de registros del mismo tipo no tiene porqué ser un mismo archivo.

- El nivel interno debe traducir las estructuras del nivel conceptual a otras estructuras intermedias más cercanas al almacenamiento real de los datos (nivel físico).

Agrupamiento

- La BD en el nivel interno:
  - Conjunto de páginas en las que se van ubicando los registros.
- Agrupamiento intra-archivo:
  - Ubicar en una página registros del mismo tipo.
  - Es el más frecuente.
- Agrupamiento inter-archivo:
  - Ubicar en una página registros de distinto tipo.
  - Ha de existir relación (por ejemplo entidades fuerte-débil). **usar clusters**

Ejemplo

- Se inserta una nueva asignatura con código A6.
  - Se localiza la primera página libre (la 24).
  - Se inserta el registro correspondiente.
  - Se añade esta página al conjunto de páginas de asignaturas.
- Se borra la asignatura con código A2.
  - La página que contiene a esta asignatura pasa al conjunto de páginas libres.
- Se introduce un nuevo profesor con código P7.
  - Se ubica en la primera página libre disponible (la segunda).
- Se borra A4.
  - Su página pasa al conjunto de páginas libres.

Ejemplo

- Se inserta una nueva asignatura con código A6.
  - Se localiza la primera página libre (la 24).
  - Se inserta el registro correspondiente.
  - Se añade esta página al conjunto de páginas de asignaturas.

0	1 A1	2 A2	3 A3	4 A4	5 24 A5
6 P1	7 P2	8 P3	9 P4	10 P5	11 P6
12 A1/P1	13 A1/P2	14 A1/P3	15 A1/P4	16 A1/P5	17 A1/P6
18 A3/P1	19 A3/P2	20 A3/P6	21 A4/P2	22 A4/P4	23 A4/P5
24 X A6	25	26	27	28	29

Ejemplo

- Se borra la asignatura con código A2.
  - La página que contiene a esta asignatura pasa al conjunto de páginas libres.
  - Se reorganiza la lista correspondiente a Asignaturas.

0	1 3 **A1**	2 25	3 **A3**	4 **A4**	5 24 **A5**
6 **P1**	7 **P2**	8 **P3**	9 **P4**	10 **P5**	11 **P6**
12 **A1/P1**	13 **A1/P2**	14 **A1/P3**	15 **A1/P4**	16 **A1/P5**	17 **A1/P6**
18 **A3/P1**	19 **A3/P2**	20 **A3/P6**	21 **A4/P2**	22 **A4/P4**	23 **A4/P5**
24 X **A6**	25	26	27	28	29 X

Ejemplo

- Se introduce un nuevo profesor con código P7.
  - Se ubica en la primera página libre disponible (la segunda).
  - Se ajustan las cadenas de punteros.

0	1 3 **A1**	2 **P7**	3 **A3**	4 **A4**	5 24 **A5**
6 **P1**	7 **P2**	8 **P3**	9 **P4**	10 **P5**	11 2 **P6**
12 **A1/P1**	13 **A1/P2**	14 **A1/P3**	15 **A1/P4**	16 **A1/P5**	17 **A1/P6**
18 **A3/P1**	19 **A3/P2**	20 **A3/P6**	21 **A4/P2**	22 **A4/P4**	23 **A4/P5**
24 X **A6**	25	26	27	28	29 X

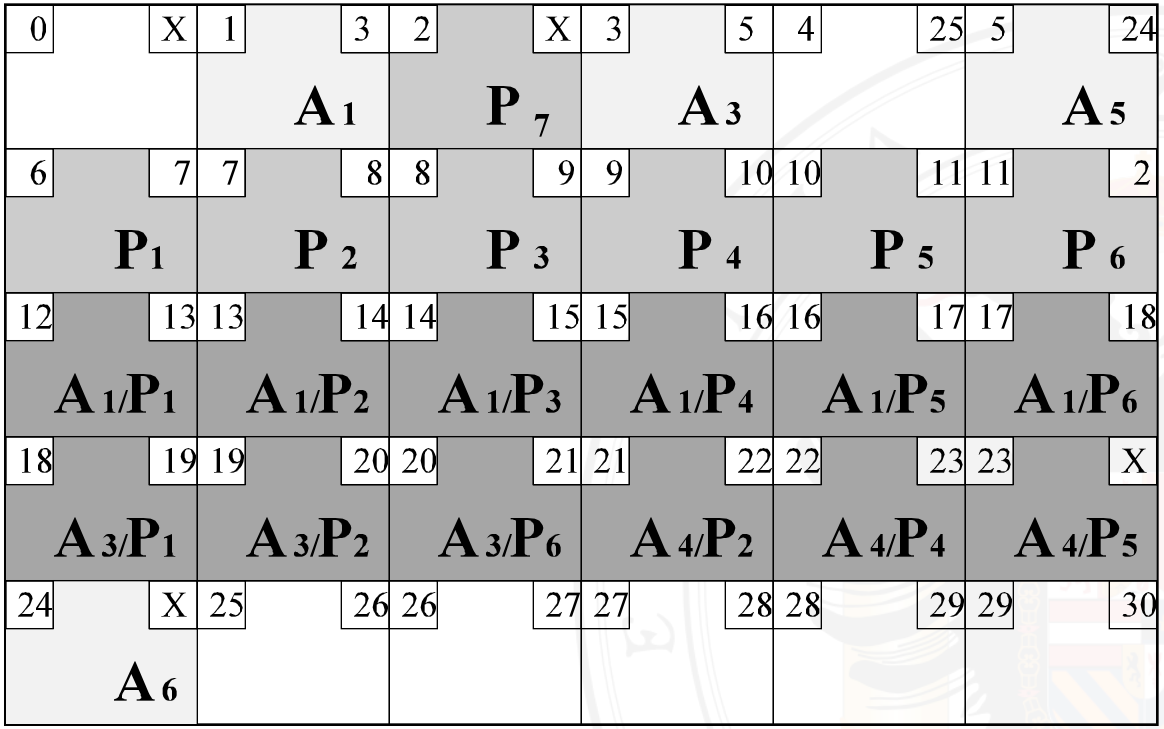
Ejemplo

- Se borra A4.
  - Su página pasa al conjunto de páginas libres.
  - Se reorganiza la cadena de punteros de las asignaturas.

0	1 3 **A1**	2 X **P7**	3 5 **A3**	4 25	5 24 **A5**
6 **P1**	7 **P2**	8 **P3**	9 **P4**	10 **P5**	11 2 **P6**
12 **A1/P1**	13 **A1/P2**	14 **A1/P3**	15 **A1/P4**	16 **A1/P5**	17 **A1/P6**
18 **A3/P1**	19 **A3/P2**	20 **A3/P6**	21 **A4/P2**	22 **A4/P4**	23 **A4/P5**
24 X **A6**	25	26	27	28	29 X

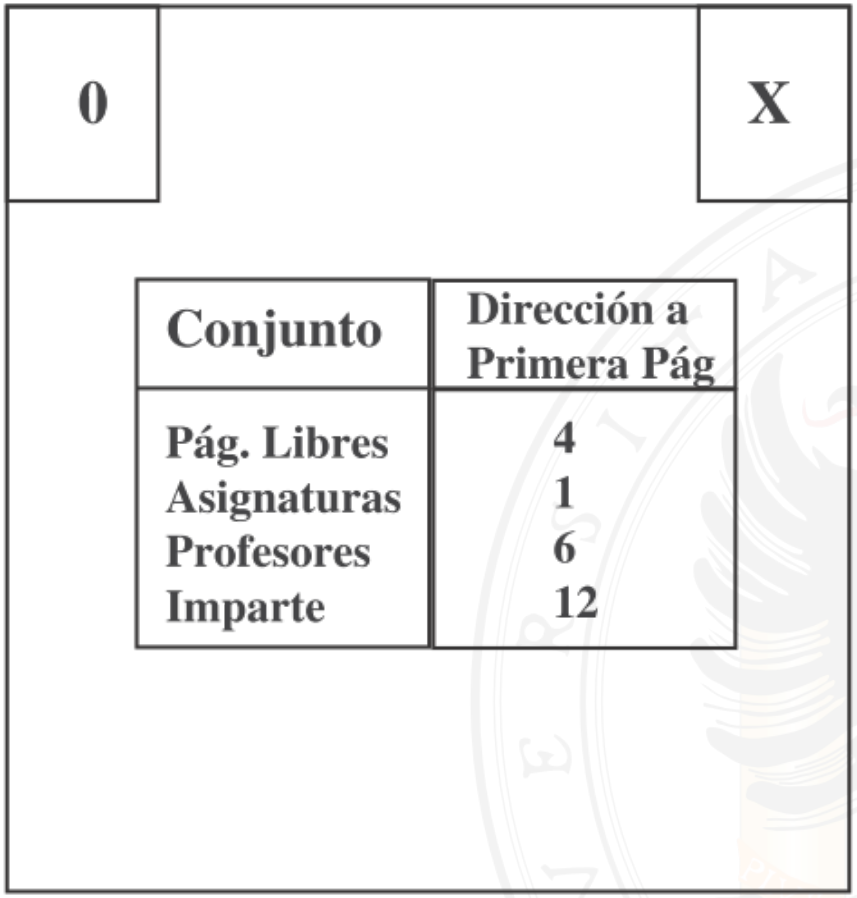
Ejemplo

- Punteros para el recorrido secuencial lógico.



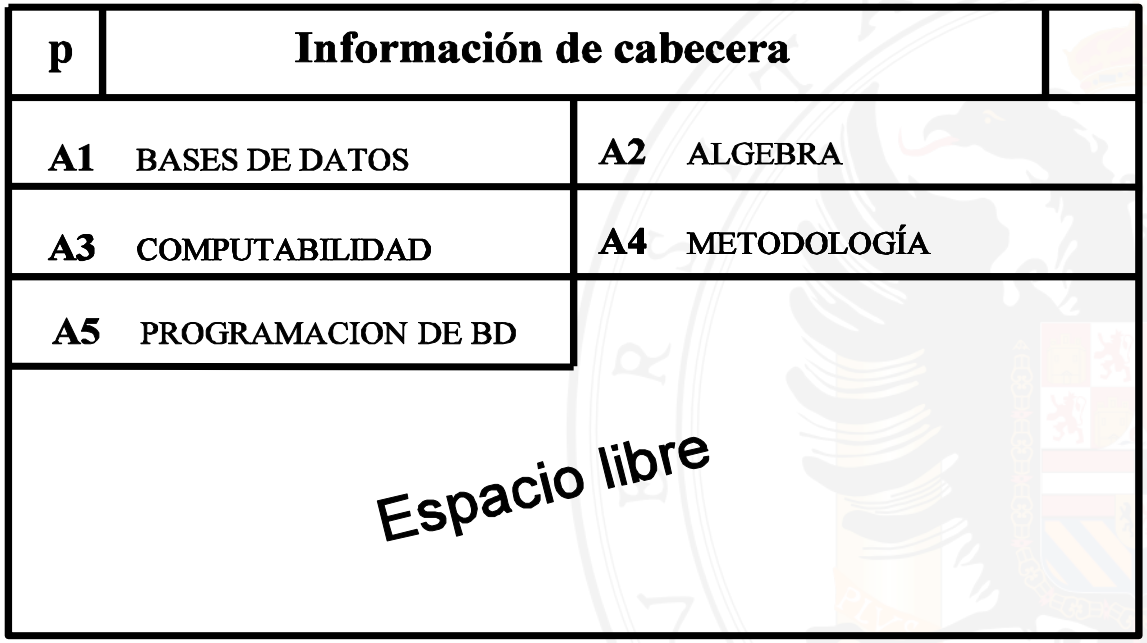
Ejemplo

- Índice de la página 0.



Ejemplo

- Factor de bloqueo 1: 1 registro en cada página.
- En realidad, las páginas contienen más de un registro:
  - Los registros se almacenan en la misma página ordenados por campo clave.
  - Queda espacio libre para ocupar.



Ejemplo

- Inserción de A9, borrado de A2 e inserción de A7

p	Información de cabecera	
A1 BASES DE DATOS		A3 COMPUTABILIDAD
A4 METODOLOGÍA		A5 PROGRAMACION DE BD
A7 MATEMÁTICA DISCRETA		A9 SISTEMAS DE BD
Espacio libre		

Consideraciones finales

- La organización descrita es un ejemplo general.
- Cada SGBD comercial utiliza su variante concreta, aunque la idea subyacente es la misma.

- No existe una relación directa fichero almacenado con fichero físico, ya que todos los conjuntos de páginas irán almacenados, con toda probabilidad, en uno o varios ficheros físicos.

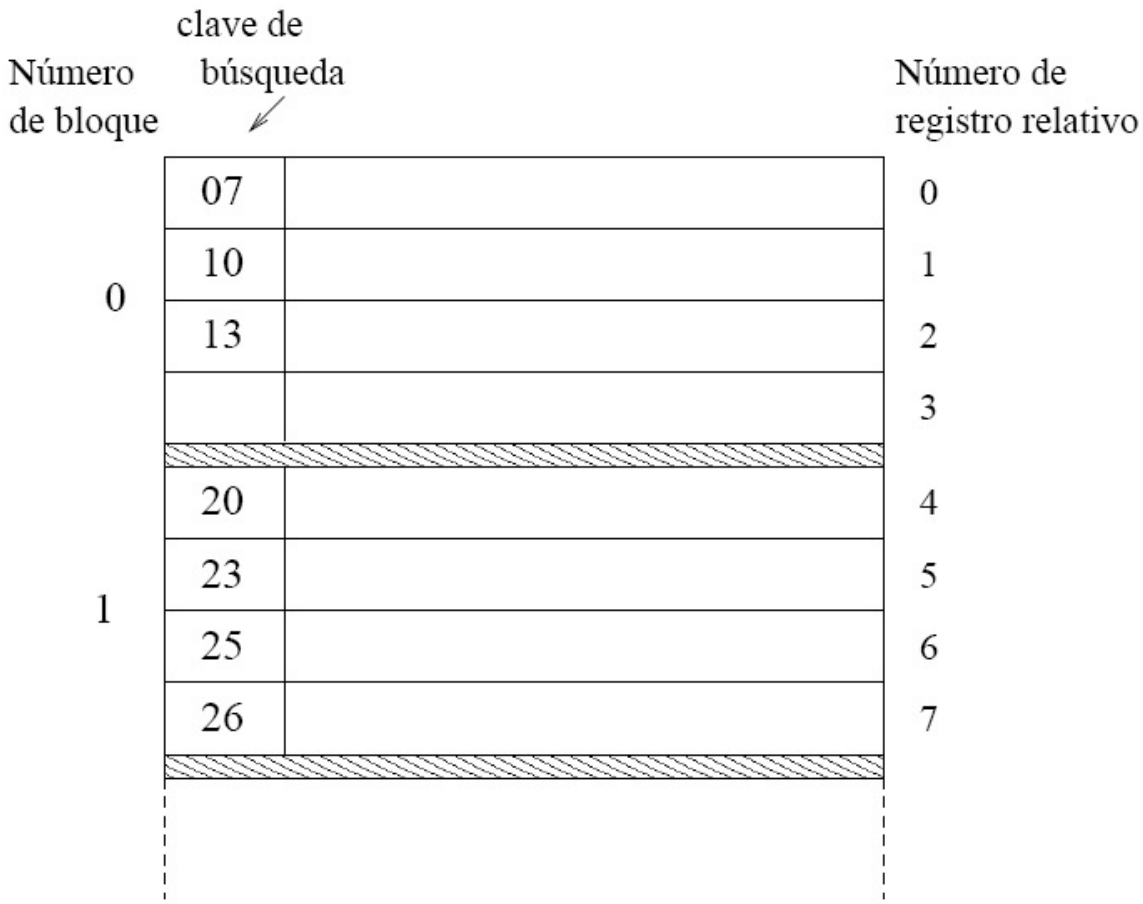
Objetivo:

Minimizar el número de accesos a disco → minimizar la cantidad de páginas de BD involucradas en una operación de BD.

- Ninguna de las organizaciones presentadas es mejor en términos absolutos.
- Criterios básicos para medir la "calidad" de una organización son:
  - Tiempo de acceso a los datos requeridos.
  - Porcentaje de memoria ocupada por los datos requeridos con respecto a las páginas de BD que los contienen.
- Trabajaremos a dos niveles:
  - Organización de registros de datos a nivel de almacenamiento.
  - Adición de estructuras complementarias para acelerar el acceso a dichos registros.

Fichero de acceso secuencial:

- Los registros están almacenados consecutivamente.
- Para acceder a un registro determinado debemos pasar obligatoriamente por los registros que le preceden.
- Los registros suelen estar ordenados por una clave (clave física).


clave de
búsqueda
Número
de bloque
Número de
registro relativo
07
10
13
20
23
25
26
0
1
0
1
2
3
4
5
6
7

Ejemplo:

- Mostrar la relación completa de departamentos.
- La consulta se resolvería rápidamente si los departamentos están almacenados conjuntamente en bloques contiguos de un fichero.

- Sin embargo:
  - ¿Qué pasa si queremos plantear consultas por valor de clave o por rango de valores?

Ejemplo:

- El primer caso implica:
  - Recorrer uno tras otro cada uno de los registros.
  - En el peor caso (no encontrarse dicho departamento o ser el último de la lista) supone recorrer de forma completa el fichero.
  - Esta búsqueda es O(N).

- El segundo caso tiene un tratamiento muy parecido:
  - Se realiza la búsqueda por valor de clave de la cota inferior del intervalo.
  - Se continúa hasta alcanzar la cota superior. Si están ordenados por el valor de la clave.

Inserción de un nuevo registro:

- Buscar el bloque que le corresponde.
  - Si hay sitio, se inserta el nuevo registro.
  - En caso contrario, o bien se opta por crear un nuevo bloque o bien se crea un bloque de desbordamiento.
- Es recomendable dejar espacio vacío en los bloques para evitar los problemas de reorganización.

Borrado de un registro:

- Buscar el registro.
- Puede implicar una reorganización local de los registros de un bloque.

En resumen, las dos operaciones suponen:

- Escritura del bloque del registro que se inserta o borra.
- Creación o liberación de bloques de datos en el fichero secuencial.
- Creación o liberación de bloques de desbordamiento.
- Reorganización de registros entre bloques contiguos, lo que implica la escritura de los bloques implicados en el desplazamiento.

- Como puede verse, esta forma de organizar los registros no está exenta de grandes inconvenientes.
- Pueden subsanarse, al menos en parte, mediante el uso de estructuras adicionales que nos permitan:
  - Acelerar la localización de los datos.
  - Disminuir el número de bloques de disco transferidos.

- Entre las técnicas más populares se encuentran:
  - Índices.
  - Acceso directo.

- Tiene por objeto disminuir el tiempo de acceso a los datos por una clave de búsqueda.
- Similar a la idea de un índice en un libro.
- Existen muchas formas de llevar a cabo esta idea.

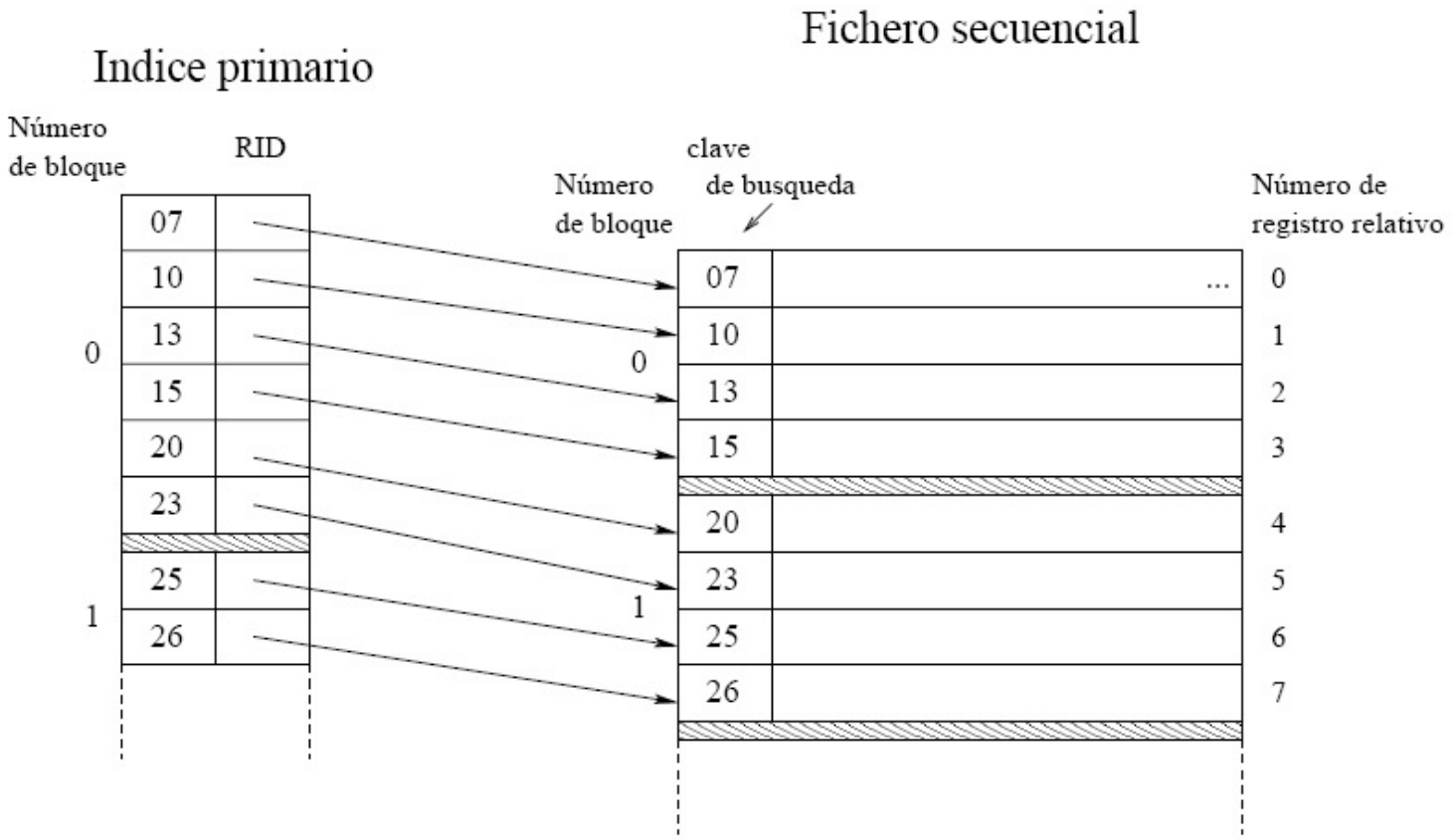
Ficheros indexados:

- Partimos de un fichero secuencial sobre el que disponemos una estructura adicional: fichero índice.

- Sus registros poseen:
  - Campo clave (la clave de búsqueda).
  - Campo de referencia que contiene RIDs de registros.

- Son más pequeños que los del fichero de datos, aunque el número de ellos es el mismo en ambos ficheros.

Ficheros indexados:

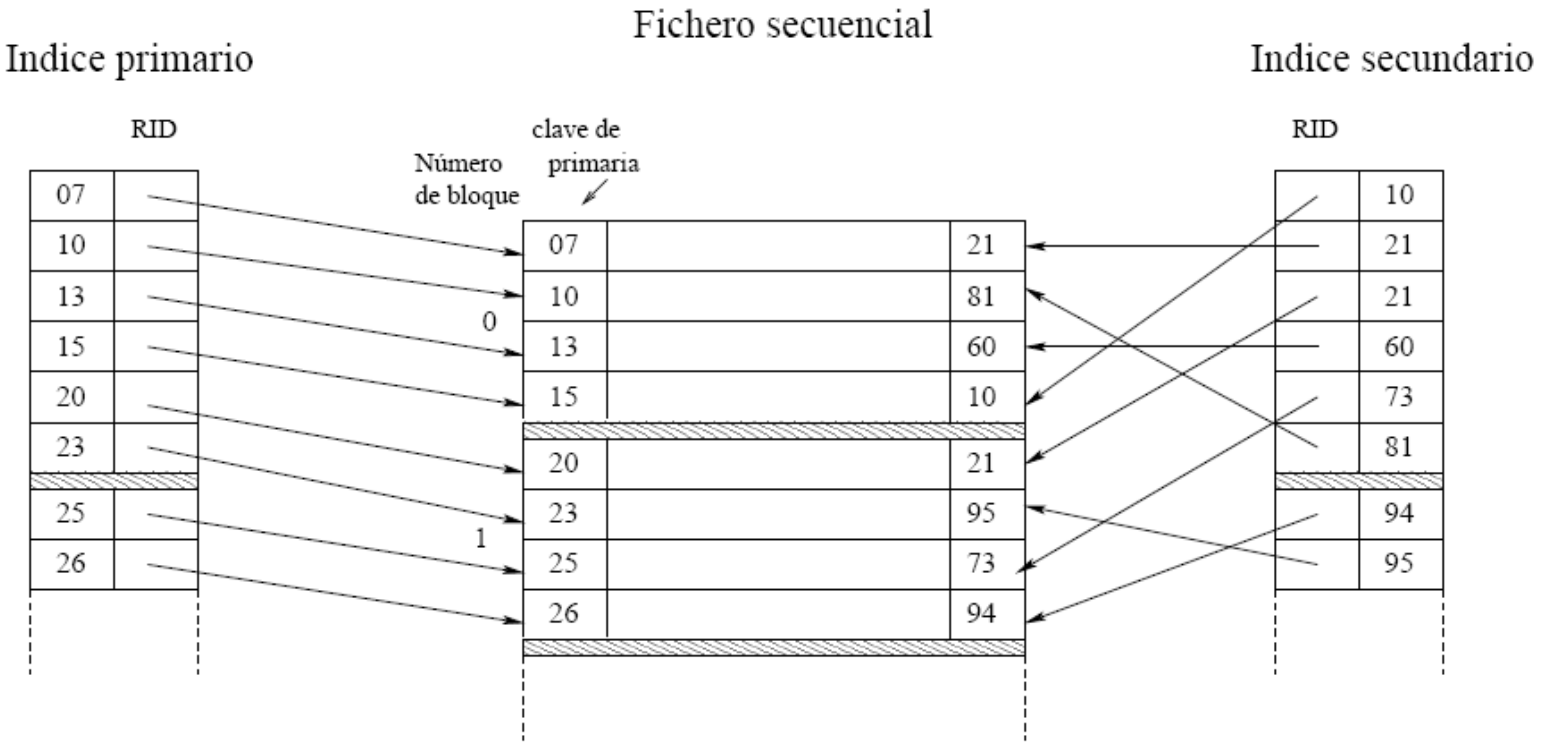


Ficheros indexados:

- Índice primario:
  - La clave de búsqueda es el mismo campo clave (clave física) por el que está ordenado el fichero secuencial de datos.

- Índices secundarios:
  - Construidos sobre otros campos que no sean la clave física del fichero de datos.

Ficheros indexados:



Ficheros indexados:

- Proceso de consulta:
  - Consulta por un valor de la clave:
    - Sobre el índice localizamos la clave (recorrido secuencial).
    - Obtenemos el RID del registro requerido.
    - Vamos a disco para recuperar el bloque de datos donde se encuentra el registro señalado por el RID.
    - La búsqueda en el índice es más rápida.
  - Consulta por rango de valores:
    - Búsqueda en el índice por valor de clave de la cota inferior.
    - Recorrido de las entradas del índice que están en el intervalo, recuperando los registros correspondientes gracias a su RID.

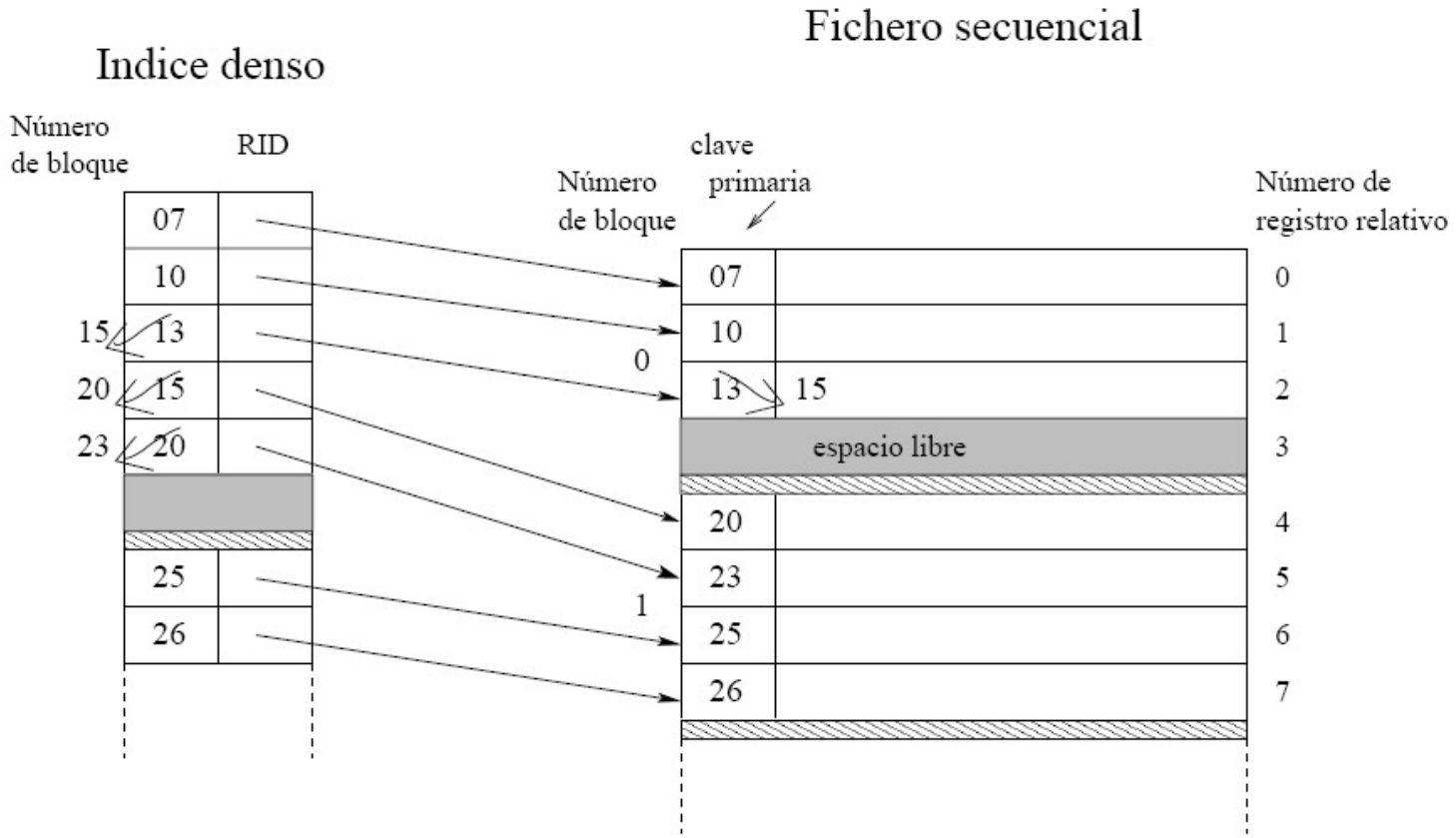
Ficheros indexados:

- Inserción de un nuevo registro:
  - Las mismas operaciones que en el fichero secuencial.
  - Hay que actualizar también el índice (inserción en un fichero secuencial).

- Borrado de un registro:
  - Borrado de un registro en el fichero de datos.
  - Borrado de una entrada en el índice.

Ficheros indexados:

Ejemplo: Borrado del registro con clave 13



Ficheros indexados:

- Se puede montar un índice sobre más de un campo de un registro.
  - Clave: concatenación de los campos indicados.

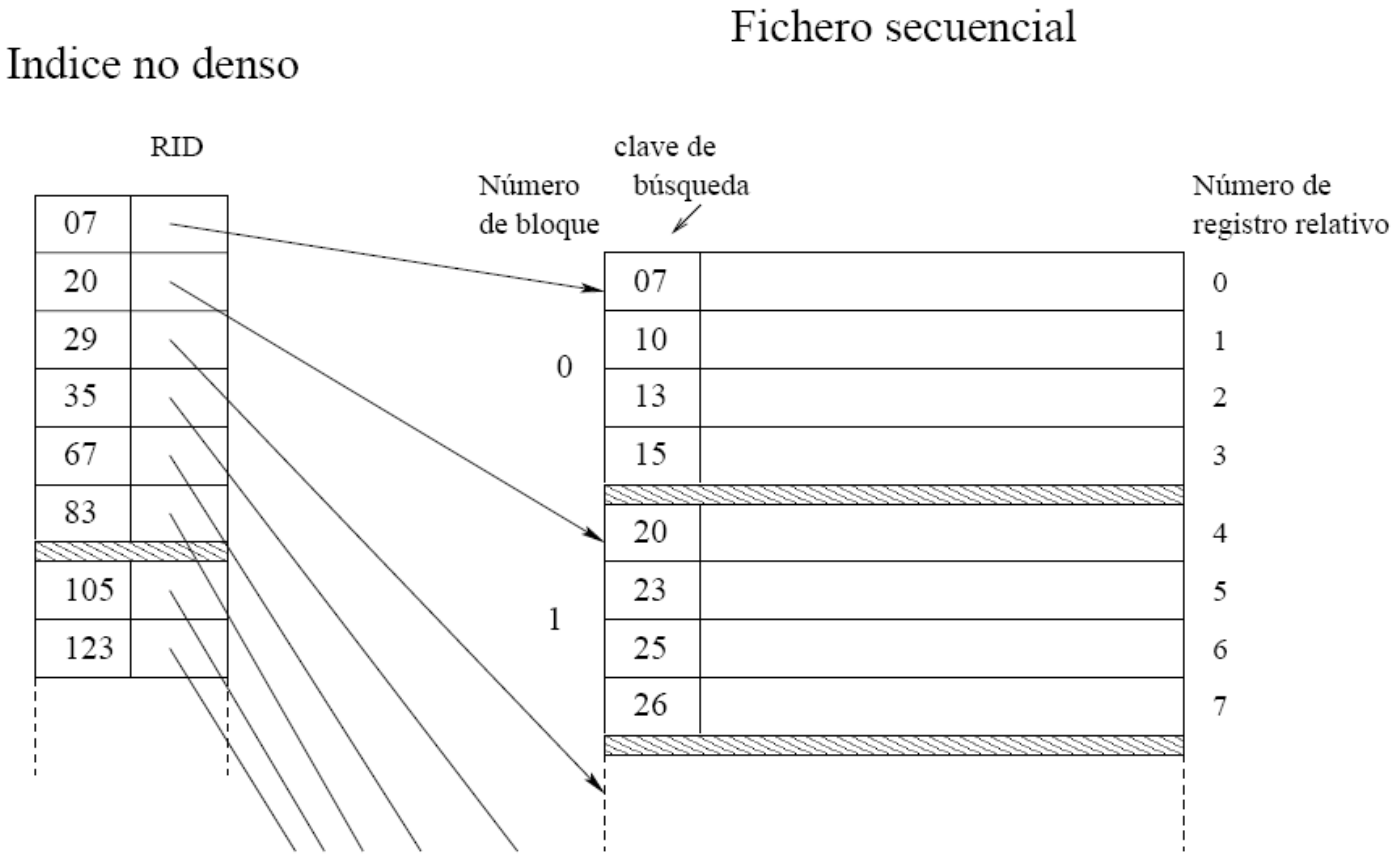
- Hay que tener cuidado con el orden de los campos indexados.
- Por ejemplo, un índice sobre nombre-alumno y DNI.
  - Es útil para consultas que involucran:
    - Nombre.
    - Nombre y DNI.
  - No es útil para consultas sobre el DNI.

Ficheros indexados:

- Conclusiones:
  - Los índices:
    - Aceleran el acceso a los datos.
    - Ralentizan las otras operaciones.
    - Hay que mantener el índice.
  - Por tanto:
    - Hay que considerar la conveniencia de crear cada índice.
    - Frecuencia de las consultas.
    - Frecuencia de las operaciones de mantenimiento de los datos.

- Lo ideal: Mantener el índice en memoria principal.
- La realidad: los índices siguen siendo muy grandes, porque contienen todos los registros del fichero que indexan.
  - Son densos.

- Para reducir el tamaño aparecen los índices no densos:
  - Registros compuestos por:
    - La clave de búsqueda.
    - La dirección de comienzo del bloque donde puede encontrarse el registro deseado.
  - El número de registros se reduce al número de bloques del fichero de datos.
    - El acceso secuencial al índice no denso se acelera.


Indice no denso
Fichero secuencial
RID
Número de bloque
clave de búsqueda
Número de registro relativo
07
20
29
35
67
83
105
123
0
1
07
10
13
15
20
23
25
26
0
1
2
3
4
5
6
7

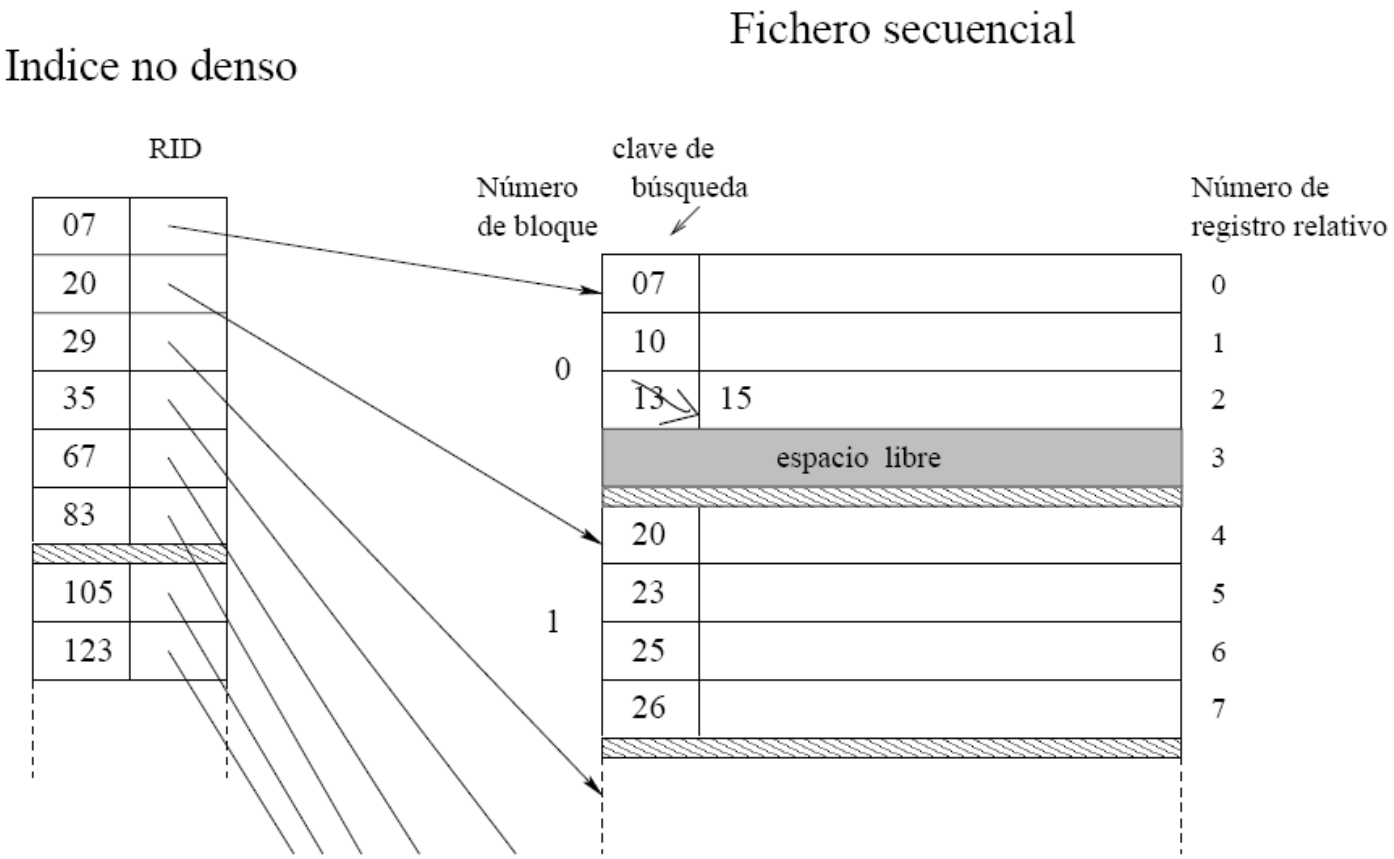
Diferencias en el proceso de búsqueda:

- Una vez encontrado el bloque donde podría encontrarse el registro:
  - Hay que cargarlo en memoria.
  - Hay que hacer una búsqueda secuencial.
  - No tiene costes en términos de acceso a disco.

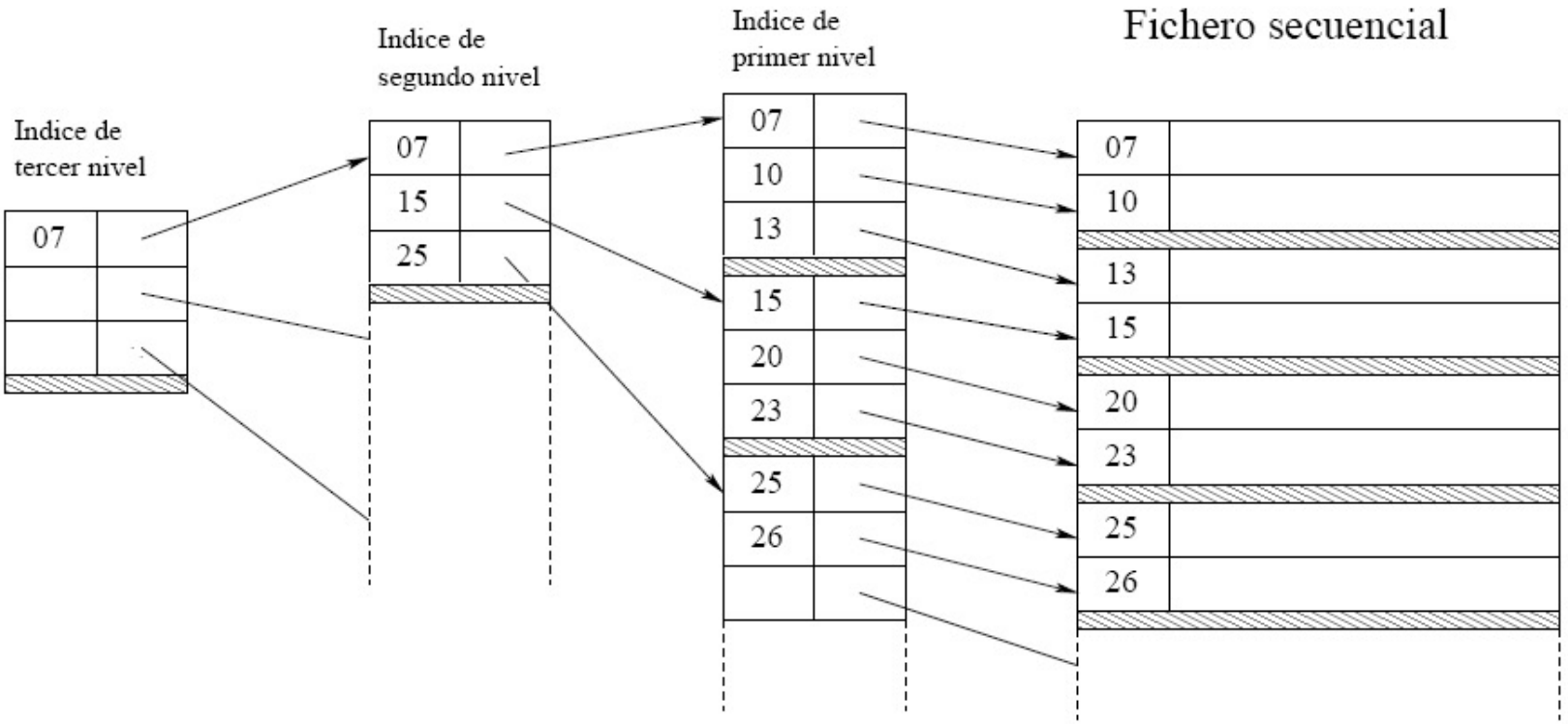
- No se tiene garantía alguna de encontrar el registro deseado hasta consultar el bloque de datos leído.

Los índices no densos sólo se pueden definir sobre la clave física

- El mantenimiento de un índice no denso es menos costoso:
  - Inserción y borrado menos frecuentes
  - Sólo ocurren cuando la operación afecta al valor representativo del bloque.


Indice no denso
Fichero secuencial
RID
Número de bloque
clave de búsqueda
Número de registro relativo
07
20
29
35
67
83
105
123
0
1
07
10
13
15
espacio libre
20
23
25
26
0
1
2
3
4
5
6
7

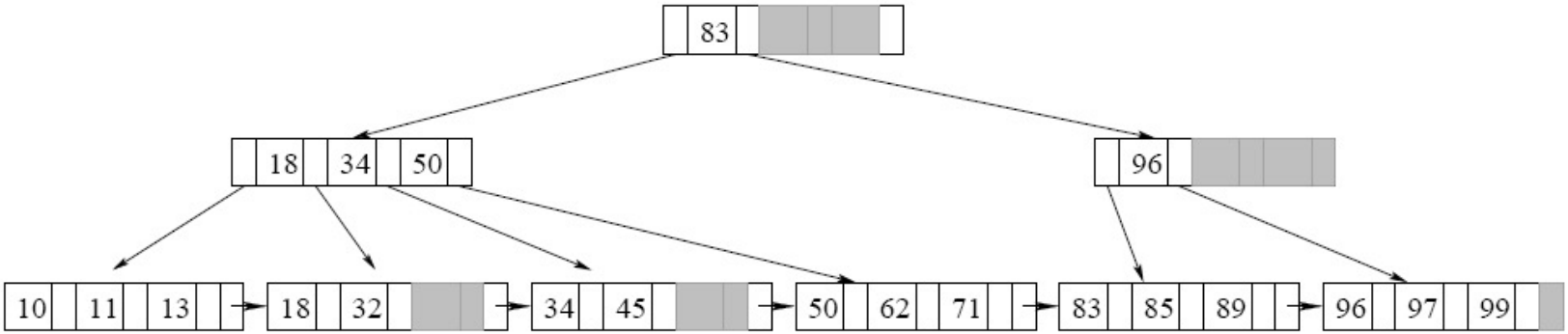
- Volvemos al objetivo de disminuir el tiempo necesario para recorrer el índice en busca de un registro:
  - Idea: crear índices sobre índices.
  - Varios niveles en el acceso a los datos.
- Un índice multinivel está formado:
  - Un índice de primer nivel sobre el fichero de datos.
  - Puede ser denso o no dependiendo de la clave.
  - Otros índices, no densos, construidos sucesivamente unos sobre otros.
- El tamaño de los bloques se establece con la idea de optimizar cada una de las operaciones de acceso al disco físico.
- Se reduce el número de accesos a disco para localizar un registro:
  - En el peor caso: tantos como niveles.
- Se complica el mantenimiento del índice.


Indice de tercer nivel
07
Indice de segundo nivel
07
15
25
Indice de primer nivel
07
10
13
15
20
23
25
26
Fichero secuencial
07
10
13
15
20
23
25
26

- Propuestos en 1972 por Bayer y McCreight son una generalización de los árboles binarios balanceados en la que los nodos pueden tener más de dos hijos.
- Todos los valores de la clave se encuentran almacenados en los nodos hoja.
- Un Árbol B+ de orden M (el máximo número de hijos que puede tener cada nodo) es un árbol con la siguiente estructura:
  - Nodo de nivel superior: raíz del árbol.
  - Nodos del nivel inferior: hojas.
  - Cada nodo distinto de las hojas tiene como máximo M hijos.
  - Cada nodo (excepto raíz y hojas) tiene como mínimo (M+1)/2 hijos.
  - La raíz tiene al menos 2 hijos si no es un nodo hoja.
  - Todos los nodos hoja aparecen al mismo nivel.
  - Las claves contenidas en cada nodo nos guiarán hasta el siguiente nodo del nivel inmediatamente inferior.
  - Un nodo no hoja con **n** hijos contiene:
    - n-1 valores de clave almacenados.
    - *n* punteros P_i que apuntan a un nodo hijo.

- Herramienta interactiva para ilustrar el uso de los árboles B+ (introducir por ejemplo la secuencia (5,6,8,9,10)):

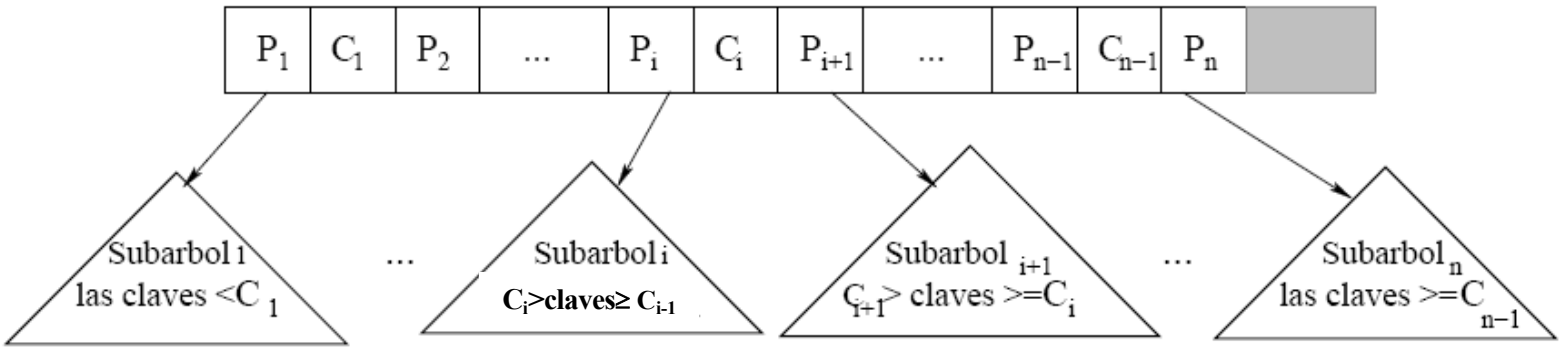
https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/BPlusTree.html



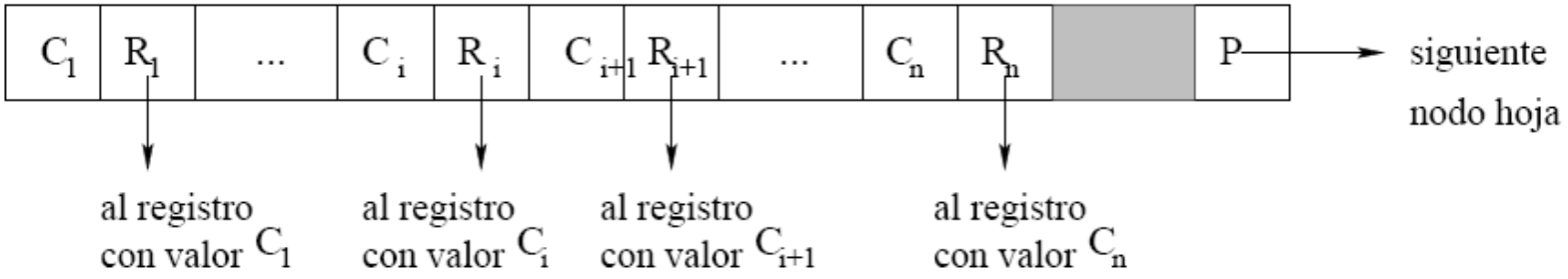
- Restricciones dentro de los nodos:
  - Los valores de clave C_i están ordenados dentro del nodo.
  - Los valores x del subárbol apuntado por P_i cumplen:
    - $C_{i-1} \leq x < C_i$
    - Excepto para:

      $i = 1$, donde $x < C_1$

      $i = m$, donde $x \leq C_m$

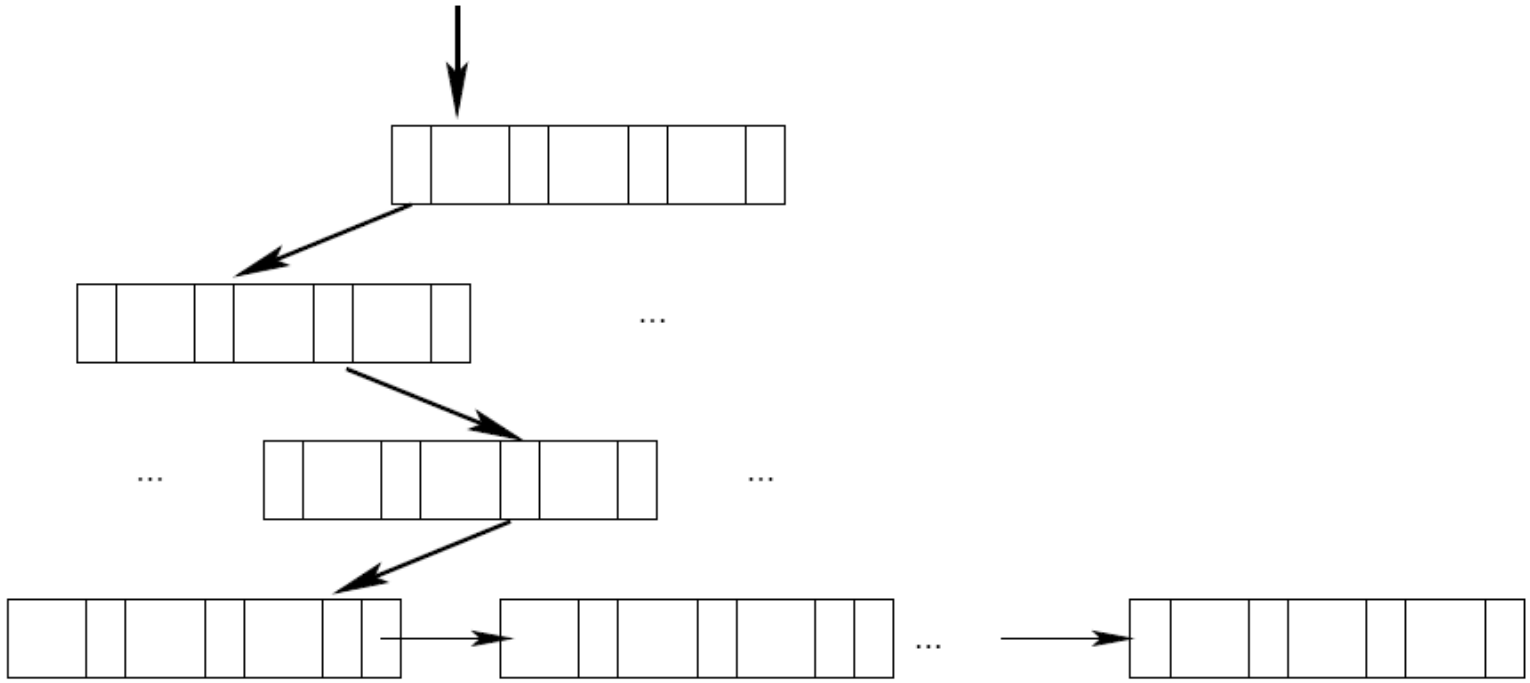


- Nodos hoja:
  - Tienen una estructura diferente:
    - Parejas clave – RID.
    - Punteros al siguiente nodo hoja.
    - Algunas variantes también tienen punteros al nodo hoja anterior.
  - La lista concatenada de nodos hoja (conjunto secuencia), tiene gran utilidad a la hora de hacer consultas por intervalos.



- Restricciones en nodos hoja:
  - Las claves aparecen ordenadas en cada nodo.
  - Todas las claves han de ser menores que las del siguiente nodo en el conjunto secuencia.
  - Los nodos han de estar como mínimo rellenos hasta la mitad.
  - Todos los nodos hoja se encuentran en el mismo nivel.
    - Árbol equilibrado.
    - Todos los caminos desde la raíz a un nodo hoja tienen la misma longitud.

- Proceso de consulta
  - Localización de un registro:
    - Navegamos desde la raíz, bajando niveles.
    - Buscamos el registro en el nodo hoja y, en su caso, recuperamos el registro del fichero de datos gracias al RID.
  - Consultas por rango:
    - Se localiza el nodo hoja que contiene el valor inferior.
    - Se recorren los nodos hoja hasta alcanzar el superior, recuperando los registros pertinentes del fichero de datos.
- Inserción y borrado
  - Se utilizan algoritmos que garantizan que el árbol resultante sea equilibrado.

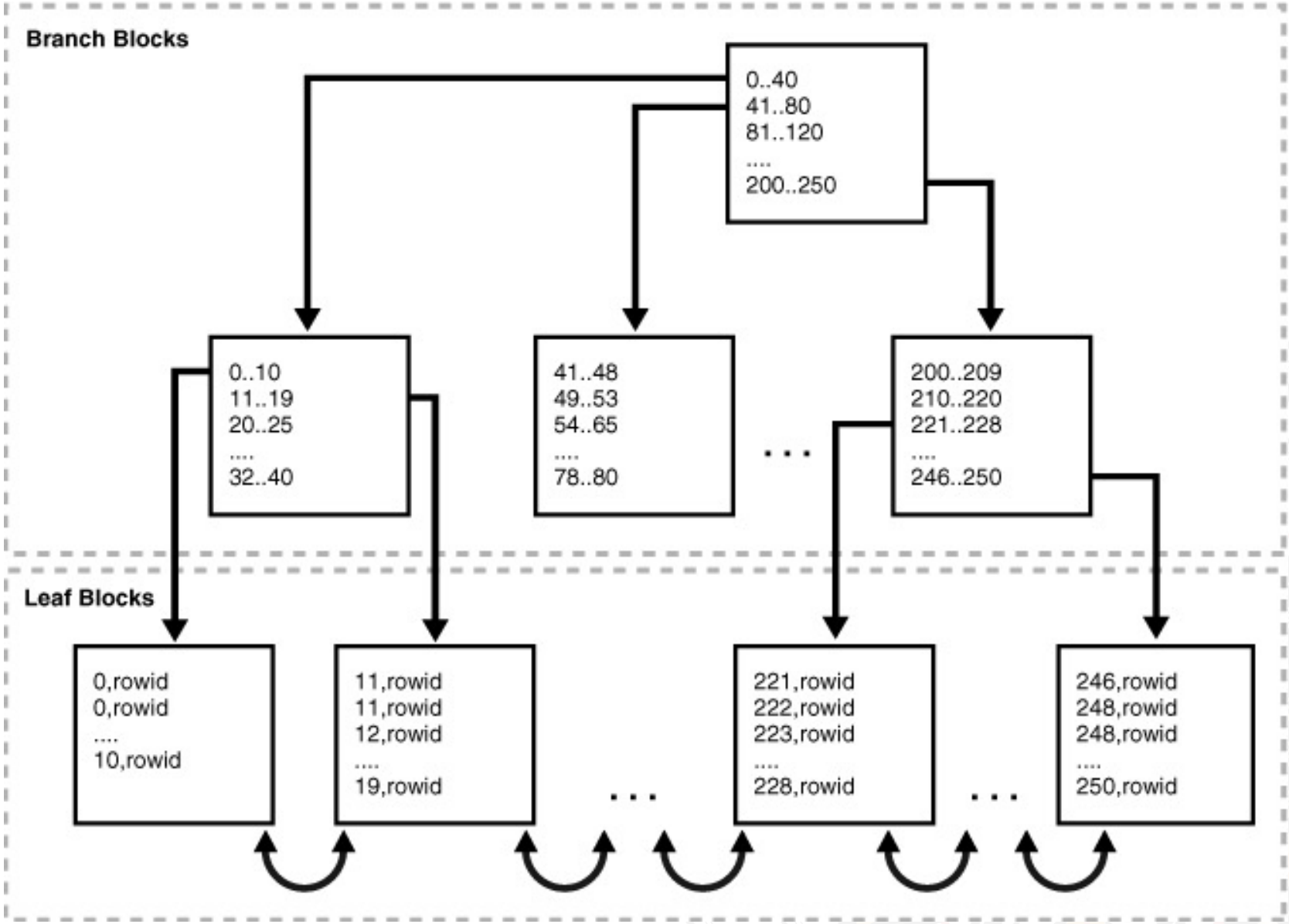


- Los árboles-B (B-Tree) son una variante de B+Tree en la que no almacenan todos los valores de la clave en los nodos hoja: algunos valores se van almacenando en los nodos intermedios conforme se crea el árbol.

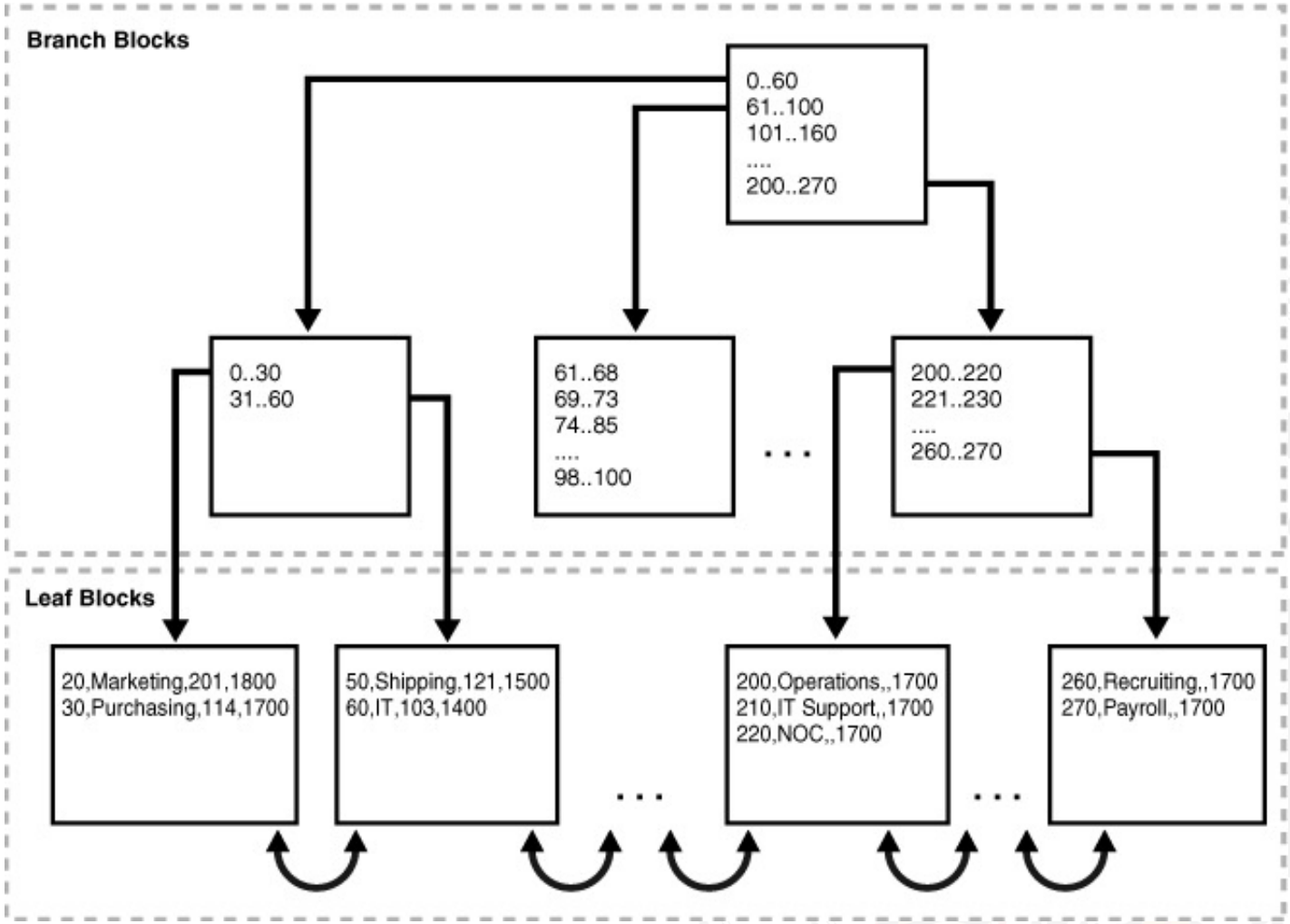
- Herramienta interactiva para ilustrar el uso de los árboles B (introducir la secuencia (5,6,8,9,10) y comparar el árbol con el generado para el árbol+B anterior):

  https://www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/BTree.html

- Variación del árbol B+, de orden elevado, en la que se procura que cada nodo tenga una capacidad de almacenamiento similar al tamaño de un bloque de datos.
- Esto reduce los accesos a disco que suelen ser los que determinan el rendimiento de las búsquedas en BD.
- En los nodos intermedios sólo están los rangos de los valores de la clave y los punteros a los nodos hijo correspondientes.
- En los nodos hoja se encuentran todos los valores de la clave ordenados junto con los RIDs (rowid) que apuntan a las tuplas que contienen ese valor de la clave.
- Los nodos hoja, que forman el conjunto secuencia, se encuentran enlazados para poder recuperar por búsquedas secuenciales.
- A veces se encuentran doblemente enlazados, para facilitar búsquedas ascendentes y descendentes por el valor de la clave.


Branch Blocks
0..40
41..80
81..120
....
200..250
0..10
11..19
20..25
....
32..40
41..48
49..53
54..65
....
78..80
200..209
210..220
221..228
....
246..250
Leaf Blocks
0,rowid
0,rowid
....
10,rowid
11,rowid
11,rowid
12,rowid
....
19,rowid
221,rowid
222,rowid
223,rowid
....
228,rowid
246,rowid
248,rowid
248,rowid
....
250,rowid

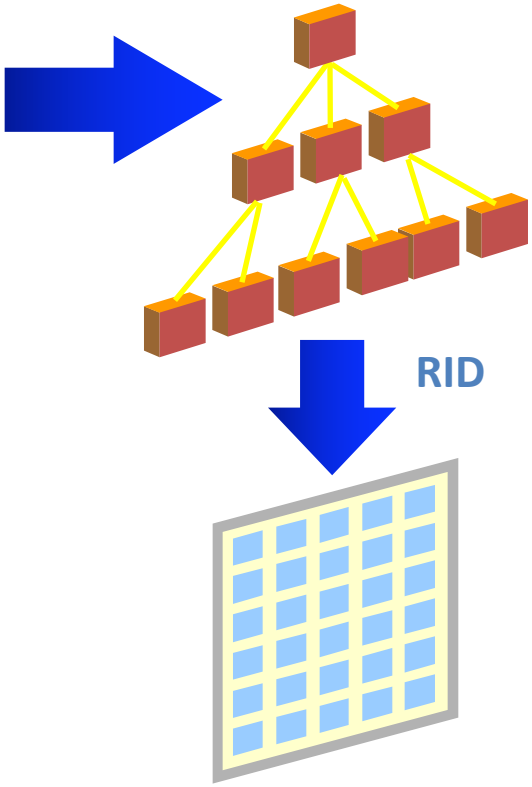
Tablas Organizadas por Índice (IOT). Las hojas contienen las tuplas en lugar del RID. Una IOT sólo puede estar organizada de esta forma mediante una clave (normalmente la clave primaria), aunque se pueden definir índices adicionales basados en otras claves.



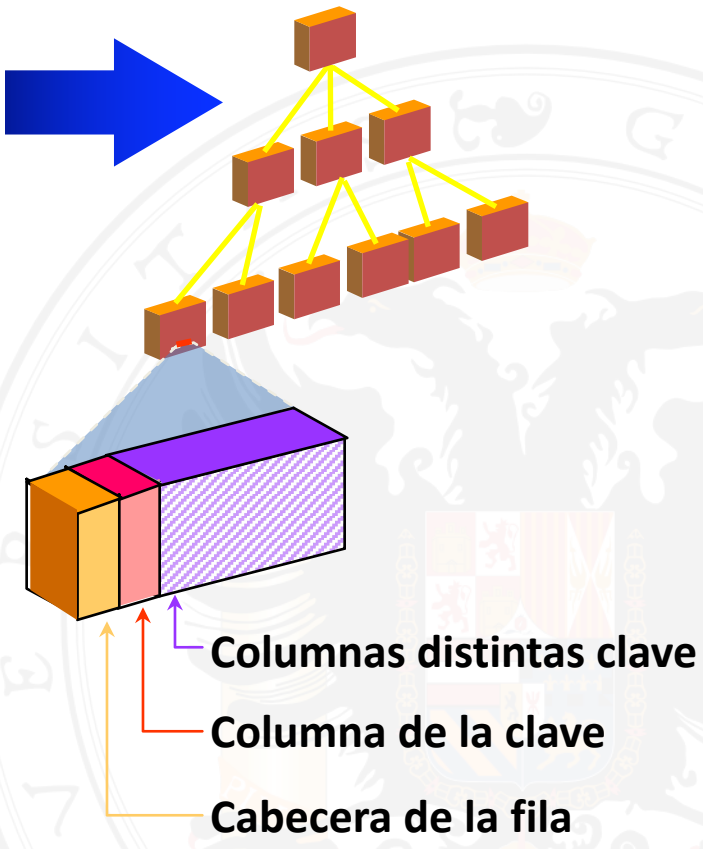
Tablas Organizadas por Índice (IOT). Estructura comparada con la de los índices normales.

```
CREATE TABLE proyecto(codpj CHAR(3) PRIMARY KEY, nompj
VARCHAR2(20), ciudad VARCHAR2(15)) ORGANIZATION INDEX;
```

Acceso indizado a la tabla



Acceso a una IOT



- Tablas Organizadas por Índice (IOT). Comparativa con índices normales.

Tabla Normal	Index-Organized Table
Identificador único ROWID (RID)	Identificado por la clave primaria
ROWID implícito Soporta varios índices	No tiene ROWID Soporta índices secundarios
Recuperación completa devuelve las tuplas desordenadas	Una recuperación completa devuelve tuplas orden. Según CP
Restricciones Unique permitidas	No soporta restricciones Unique
Soporta distribución, replicación y particionado	No soporta distribución, replicación ni particionado

Índice por clave invertida (reverse index)

- Invierte los datos del valor de la clave.
- Ejemplo (página siguiente):
  - Para el empleado 7698 almacena 8967.
- Este índice es adecuado para búsquedas basadas en predicados =.
- Se reducen los embotellamientos (retención de bloques de BD) en el índice cuando se están introduciendo los datos de forma ascendente para los valores de la clave, puesto que todos irían a la misma entrada de índice.

```
CREATE INDEX pie_codpie_rv_idx ON pieza(codpie) REVERSE
```

Índice por Clave Invertida (reverse index)

Índice invertido sobre EMP(EMPNO)

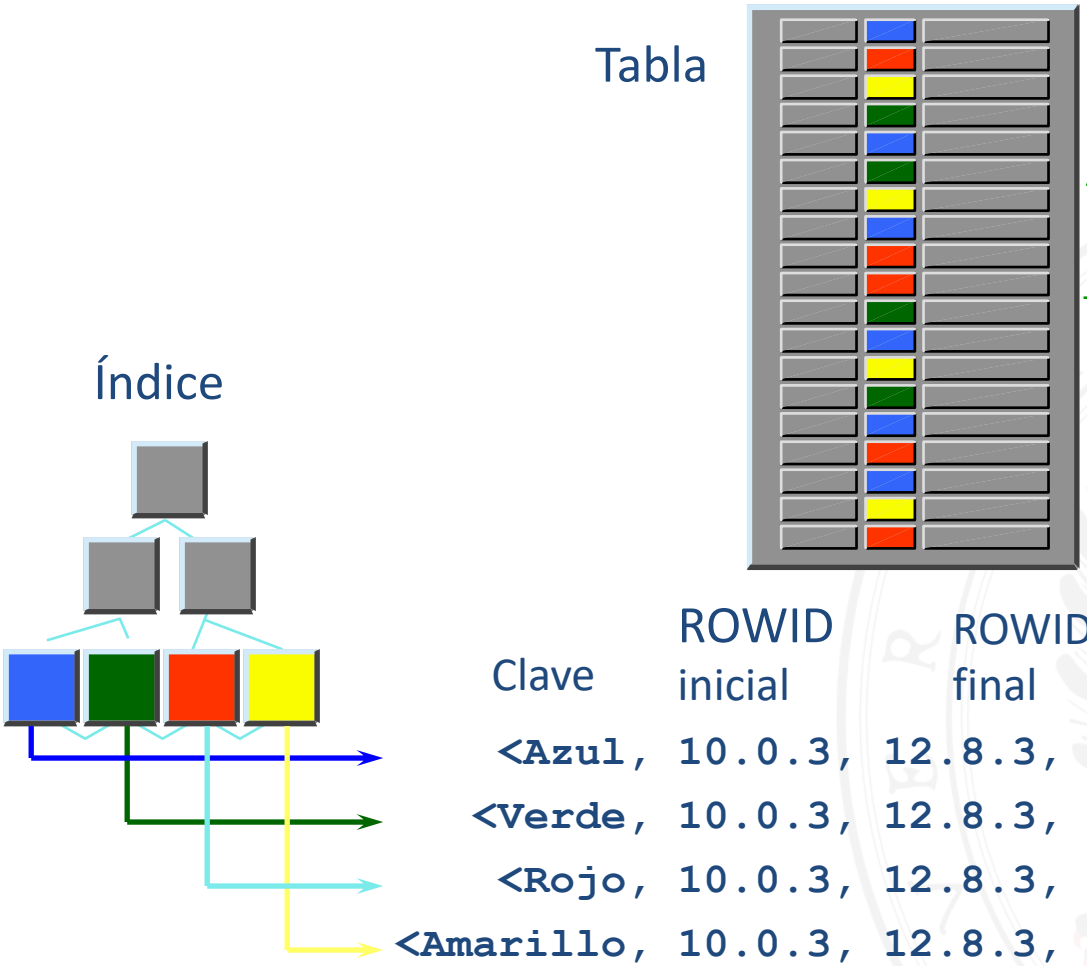
KEY	ROWID
EMPNO	(BLOCK# ROW# FILE#)
1257	0000000F.0002.0001
2877	0000000F.0006.0001
4567	0000000F.0004.0001
6657	0000000F.0003.0001
8967	0000000F.0005.0001
9637	0000000F.0001.0001
9947	0000000F.0000.0001
...	...
...	...

Tabla EMP

EMPNO	ENAME	JOB	...
7499	ALLEN	SALESMAN	
7369	SMITH	CLERK	
7521	WARD	SALESMAN	...
7566	JONES	MANAGER	
7654	MARTIN	SALESMAN	
7698	BLAKE	MANAGER	
7782	CLARK	MANAGER	
...	...	...	...
...	...	...	...

- Para cada valor que toma la clave, almacena una secuencia de bits (tantos como tuplas contenga la tabla): el bit 1 indica que ese valor está presente en la tupla y el 0 que no lo está.

```
CREATE BITMAP INDEX pie_color_bit_idx ON pieza(color)
```



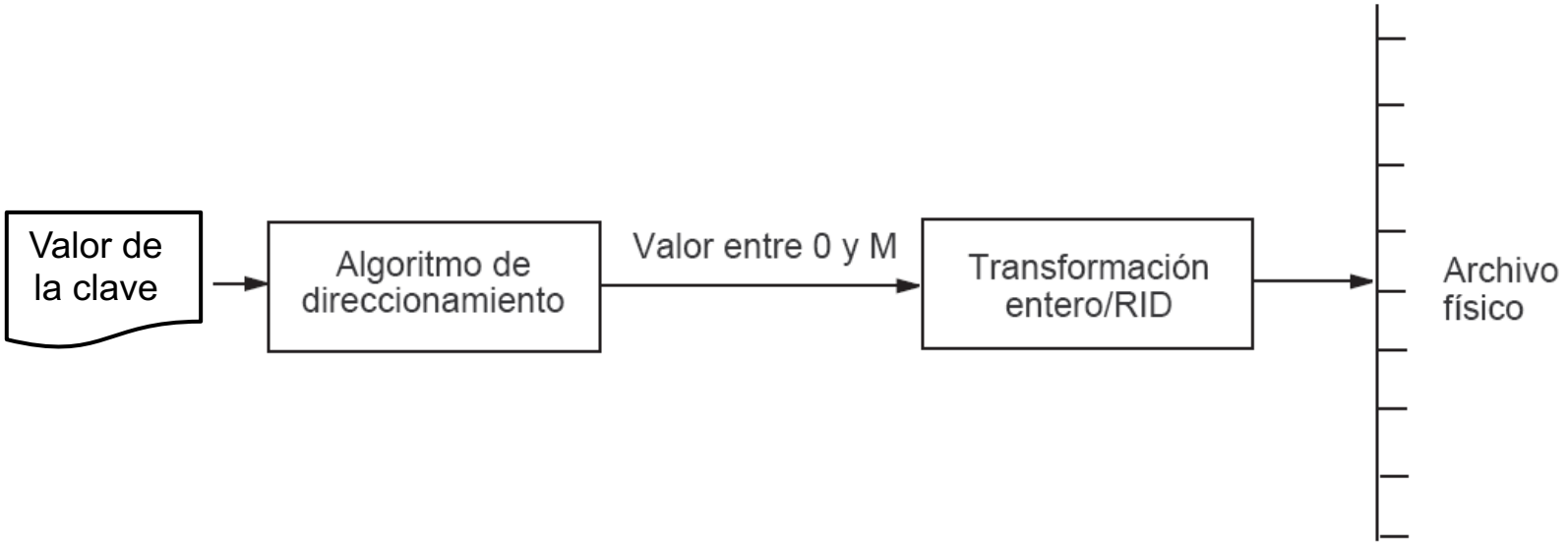
Clave	ROWID inicial	ROWID final	bitmap
<Azul,	10.0.3,	12.8.3,	10001001000100101000>
<Verde,	10.0.3,	12.8.3,	00010100001001000000>
<Rojo,	10.0.3,	12.8.3,	01000000110000010001>
<Amarillo,	10.0.3,	12.8.3,	00100010000010000010>

- Índices Bitmap. Comparativa con índices basados en B-tree.

B-tree	Bitmap
Adecuado para columnas que tomen muchos valores	Adecuado para columnas que tomen pocos valores
Actualizaciones sobre las claves no muy costosa	Actualizaciones sobre las claves muy costosa
Ineficiente para consultas usando predicados OR	Eficiente para consultas usando predicados OR
Útil para Online Transactional Processing	Útil para sistemas de ayuda a la decisión

- Otra forma de acceder a un registro almacenado:
  - No hay una estructura adicional.
  - Se usa un algoritmo que nos indique directamente la posición del registro deseado.
- Acceso directo:
  - Calcular directamente la dirección de un registro mediante la aplicación de un algoritmo o función sobre un campo determinado del mismo.
  - El campo debe identificar unívocamente al registro.

- Funcionamiento:
  - Normalmente no es posible establecer una clave física que sea totalmente correlativa y única para cada registro.
  - Hay que buscar un algoritmo que transforme los valores de un cierto campo en una dirección:
    - Entrada: campo clave.
    - Salida: valor entero positivo fácilmente transformable en RID.



- Los algoritmos de direccionamiento no suelen mantener el orden de la clave:
  - Los registros no están almacenados según el orden de su clave física.
  - Problemas con la recuperación por intervalos.

- Hay una gran variedad de algoritmos:
  - Dependen del tipo de clave:
    - Si la clave es alfanumérica, hay que transformarla a un valor numérico.
  - Suelen estar basados en un mecanismo de generación de números pseudoaletorios:
    - *Cuadrados centrales:* Se eleva la clave al cuadrado y se eligen tantos dígitos centrales como sea necesario:

```
appletviewer
http://research.cs.vt.edu/AVresearch/hashing/midsquare.php
```

    - *Congruencias:* Se divide la clave por M y se toma el resto (M suele ser primo).

```
appletviewer
http://research.cs.vt.edu/AVresearch/hashing/modfunc.php
```

    - *Desplazamiento:* Se superponen adecuadamente los dígitos binarios de la clave y luego se suman.
    - *Conversión de base:* Se cambia la base de numeración y se suprimen algunos dígitos resultantes.
  - Comparación del rendimiento de diversas funciones Hash:

```
appletviewer http://research.cs.vt.edu/AVresearch/hashing/hashfuncsum.php
```

  - Para ejecutar los applets mediante appletviewer hay que tener instalado el SDK Java y, desde una ventana de comandos ejecutar:

```
appletviewer <url>
```

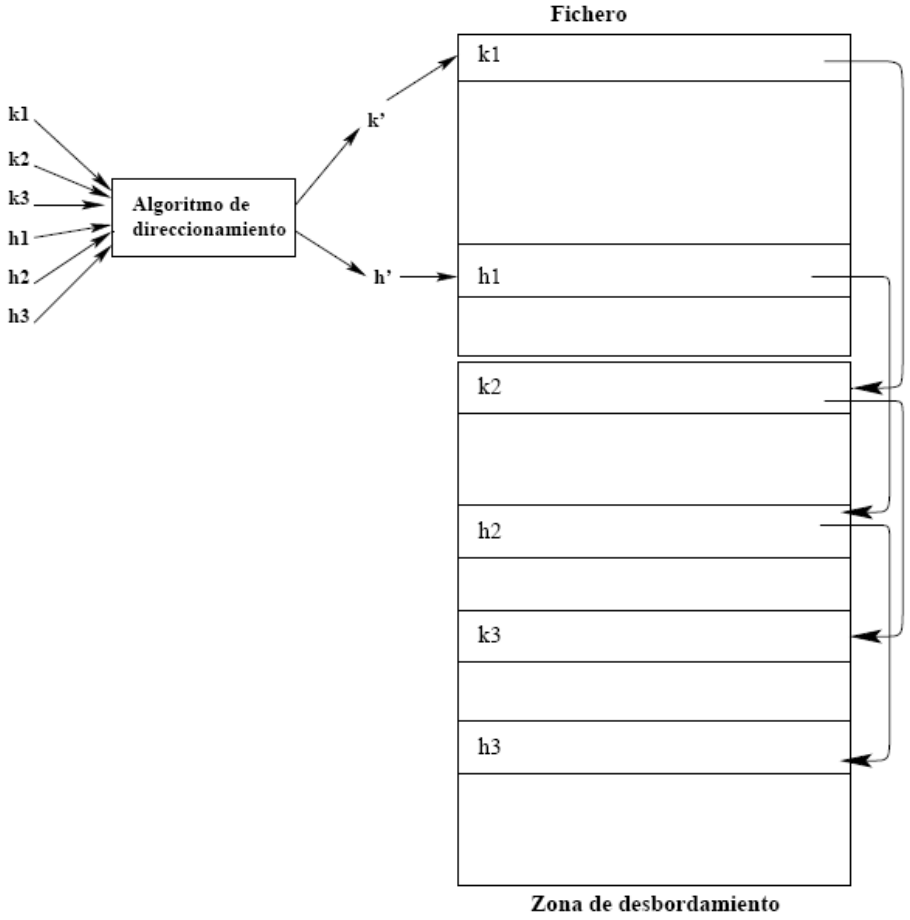
- Problemas:
  - Salvo que el campo clave se diseñe para ello, es prácticamente imposible encontrar una transformación que dé un valor entero positivo en un rango de valores limitado tal que:
    - No haya dos valores distintos de clave que den lugar al mismo número.
    - Por ello se producen colisiones.
  - Los algoritmos producen huecos:
    - Zonas vacías del rango de salida, no asignadas por el algoritmo.
    - Se traducen en huecos en el fichero de datos.

- Para gestionar colisiones y huecos:
  - Combinar el acceso directo con una gestión mediante listas de colisión: Zona de desbordamiento.
  - Colisión:
    - El registro problemático se almacena en la zona de desbordamiento.
    - Los sinónimos (registros con claves que producen colisión) se conectan mediante una lista.

- Ejemplo: ejecuta

`appletviewer http://groups.umd.umich.edu/cis/course.des/cis350/hashing/WEB/HashApplet.htm`

selecciona “Chaining W separate overflow” y establece 1 en: “Slots per bucket”.



- Si crecen las listas de sinónimos:
  - El acceso directo puro no resulta óptimo por:
    - Mantener listas.
    - Zona de desbordamiento casi como el fichero original.

- Han aparecido técnicas más sofisticadas:
  - Hashing.

- Si el problema principal es que los valores de las claves no están uniformemente distribuidos en el intervalo [0,M]:
  - Se acumulan en una parte de este intervalo.
  - Solución:
    - Asignar más espacio a esa parte del intervalo.

- Técnica:
  - Se divide el espacio del fichero en "cubos" (buckets).
  - El algoritmo de direccionamiento asigna cubos, no direcciones concretas.
  - En cada "cubo" puede haber más de un registro.
  - Ciertos rangos de valores tienen asignados más cubos que otros.
  - Se complementa con el uso de "cubos de desbordamiento".

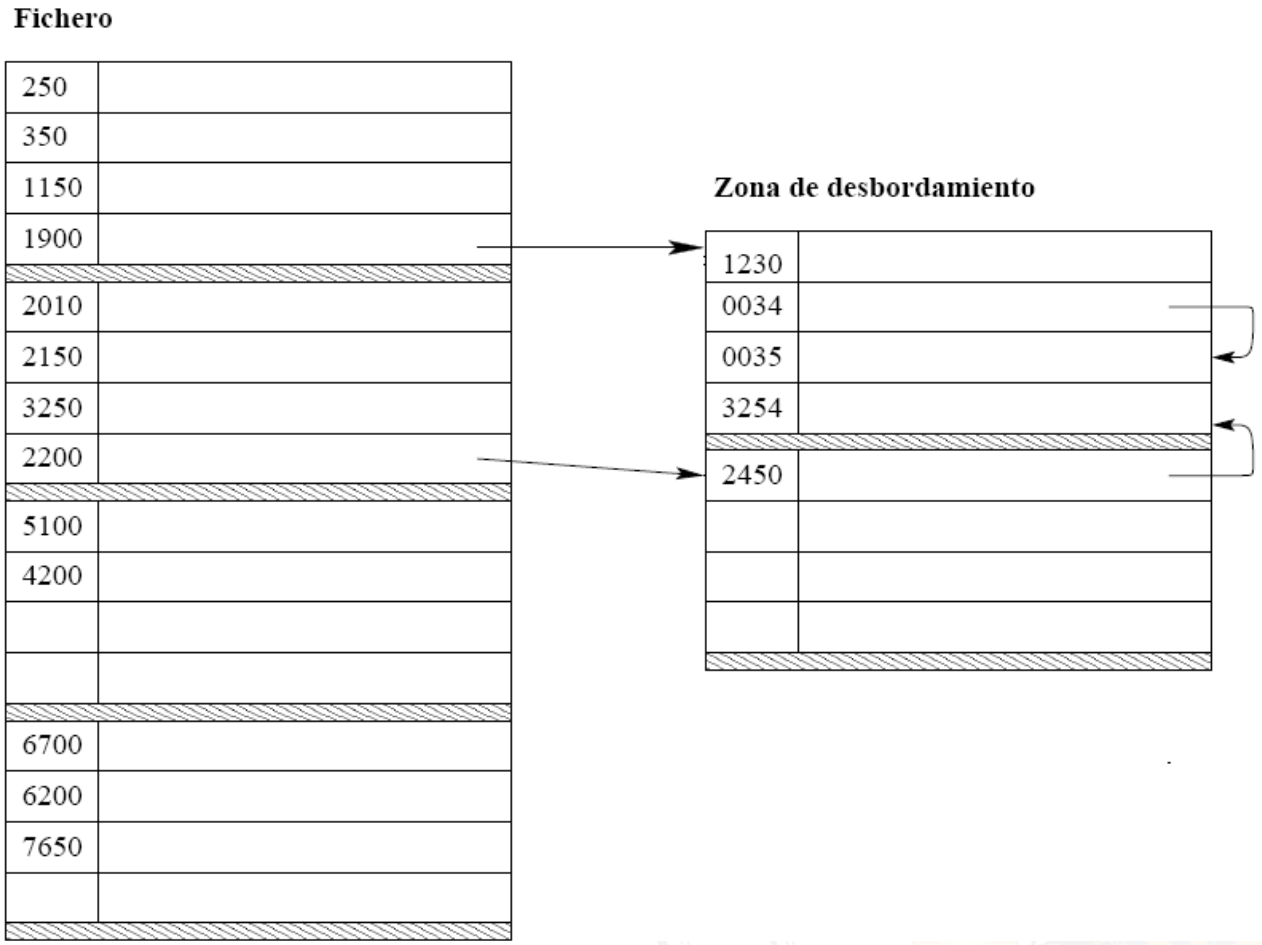
- Parámetros:
  - Número de cubos.
  - Tamaño de los cubos (relación con bloques físicos): slots.
  - La transformada clave/dirección debe tener en cuenta la distribución de la clave según rangos, para que unos cubos no se llenen mucho y otros se queden muy vacíos.
  - Selecciona “Chaining W separate overflow” en el Applet:

```
appletviewer
http://groups.umd.umich.edu/cis/course.des/cis350/hashing/WEB/HashApplet.htm
```

    - En “Setup”:
      - Slots per bucket: 2; Buckets: 7; Size overflow: 10; Data Size: 20
    - Pincha “Execute”.

- Para insertar un registro:
  - Transformar la clave.
  - Localizar el cubo correspondiente.
  - Si hay sitio, se inserta el registro y hemos terminado.
  - Si no hay sitio, se sitúa el registro en un cubo de desbordamiento conectándolo con el cubo que realmente le corresponde mediante punteros.
  - Sobre el enlace de la trasparencia anterior:
    - Pulsa "Step" sucesivamente para ver cómo se van insertando los registros de uno en uno.

- El proceso de búsqueda:
  - Transformar la clave.
  - Localizar el cubo correspondiente.
  - Realizar una búsqueda secuencial dentro del cubo:
    - Si hemos encontrado el registro, el proceso termina.
    - En caso contrario, se impone “un barrido por punteros” a través de los cubos de desbordamiento.
  - Ejemplo. Describir el proceso para encontrar un determinado valor de la clave sobre el ejemplo de la transparencia anterior.


Fichero
250
350
1150
1900
2010
2150
3250
2200
5100
4200
6700
6200
7650
Zona de desbordamiento
1230
0034
0035
3254
2450

- El hashing básico sigue teniendo problemas:
  - Es necesario conocer la distribución previa de las claves para asignar adecuadamente los cubos.
  - En otro caso siguen apareciendo huecos/colisiones.
  - Al aumentar el número de registros, aumentan los registros en páginas de desbordamiento.
  - Se hacen necesarias las reorganizaciones.

- Solución:
  - Trabajar de forma dinámica.
  - Esta técnica se denomina: Hashing dinámico o extensible.
  - Se parte de una configuración uniforme y de pocos cubos.
  - Los restantes, se van generando conforme se necesiten.
  - Se asignan a los rangos conforme la afluencia de registros lo demanda.

- Técnica:
  - El valor transformado del campo clave nos lleva a la entrada de una tabla índice que se almacena en memoria.
  - Allí está la dirección del cubo donde se encuentran los registros que tienen asociado este valor transformado.
  - Puede ocurrir que varias entradas de la tabla conduzcan al mismo cubo.
  - Proceso:
    - Inicialmente, todas las entradas apuntan al mismo cubo.
    - A medida que vamos insertando registros, se van generando nuevos cubos y cambiando las salidas de la tabla índice.

- Algoritmo de Hashing dinámico

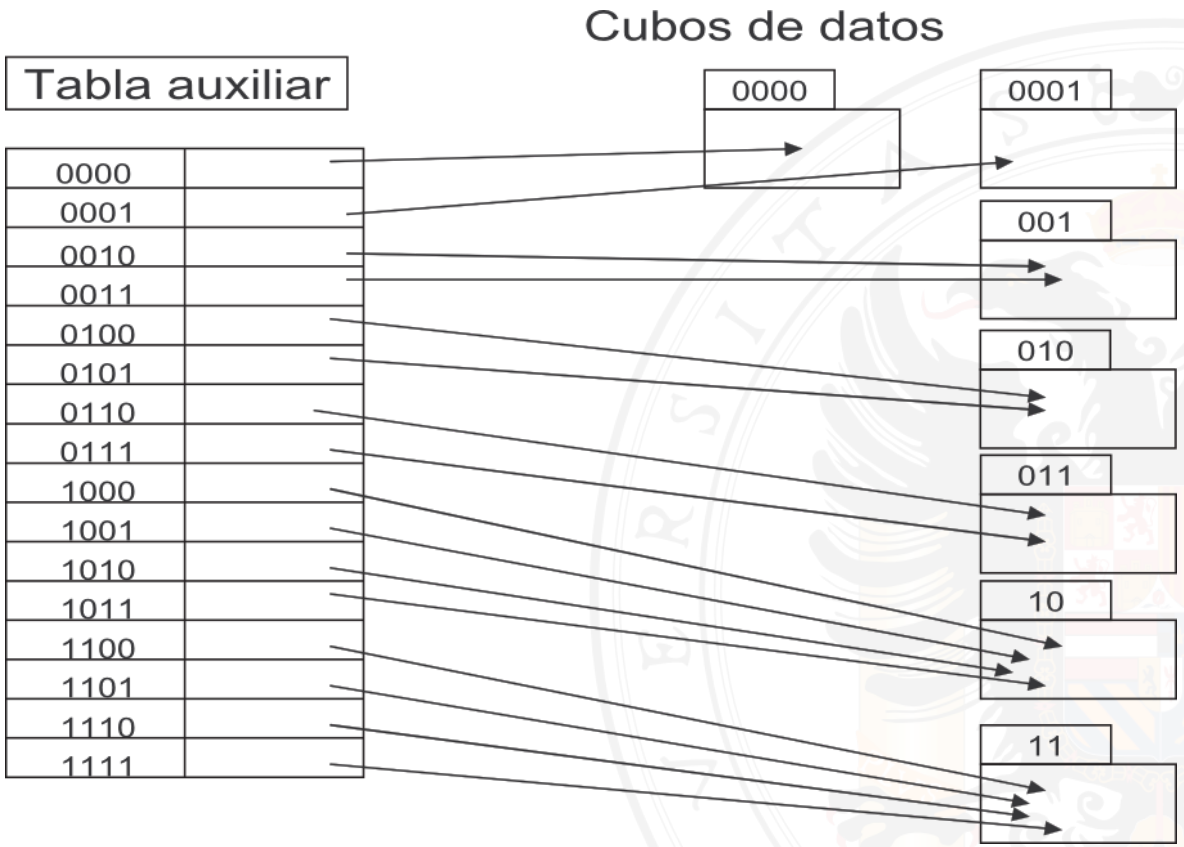
  - Datos de partida:
    - k= clave física para direccionar
    - k'= h(k) valor entero entre 0 y M
    - n= número de bits que tiene k' en binario
    - d <= n, los d primeros dígitos de k' seleccionan el cubo donde está el registro y se llaman pseudollave.
    - b<d<=n, inicialmente el archivo tiene 2^b cubos distintos, como máximo tendrá 2^d

- Algoritmo:
  - Se considera una tabla índice en memoria con 2^d filas.
  - En la primera columna de esta tabla (valores de campo clave) se sitúan todas las posibles sucesiones de d dígitos binarios:
    - d es la "profundidad global" de la tabla.
  - En principio, todas las entradas cuyos b primeros dígitos son iguales apuntan al mismo cubo:
    - Allí se almacenan los registros cuyo valor de k' tiene esos b primeros dígitos.
  - Todos los cubos tienen en principio "profundidad local" igual a b.
  - Cuando se llena un cubo se divide en 2, poniendo en uno de ellos los registros con el dígito b+1 de k' a 0 y en el otro los que lo tienen igual a 1. La profundidad local de estos cubos aumenta una unidad.

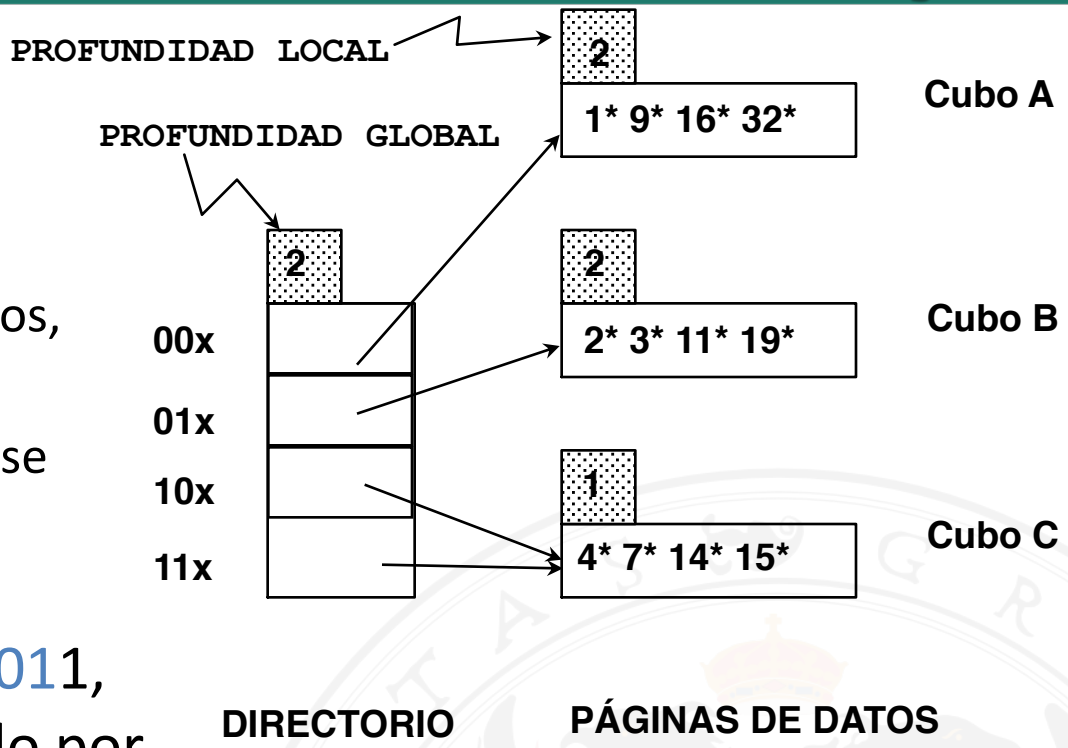
- Videoanimación de hashing extensible

  https://www.youtube.com/watch?v=8bj3wg-9E_w

Nota: En esta videoanimación el desdoble se realiza partiendo del dígito menos significativo del valor devuelto por h(k), en lugar de partir del dígito más significativo como hemos descrito en este tema.



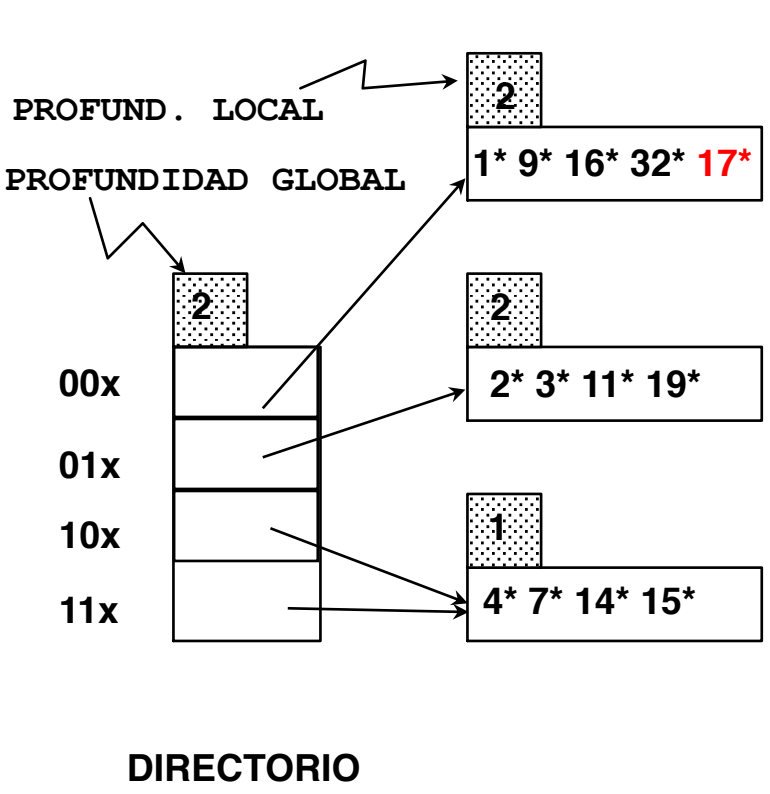
- Ejemplo

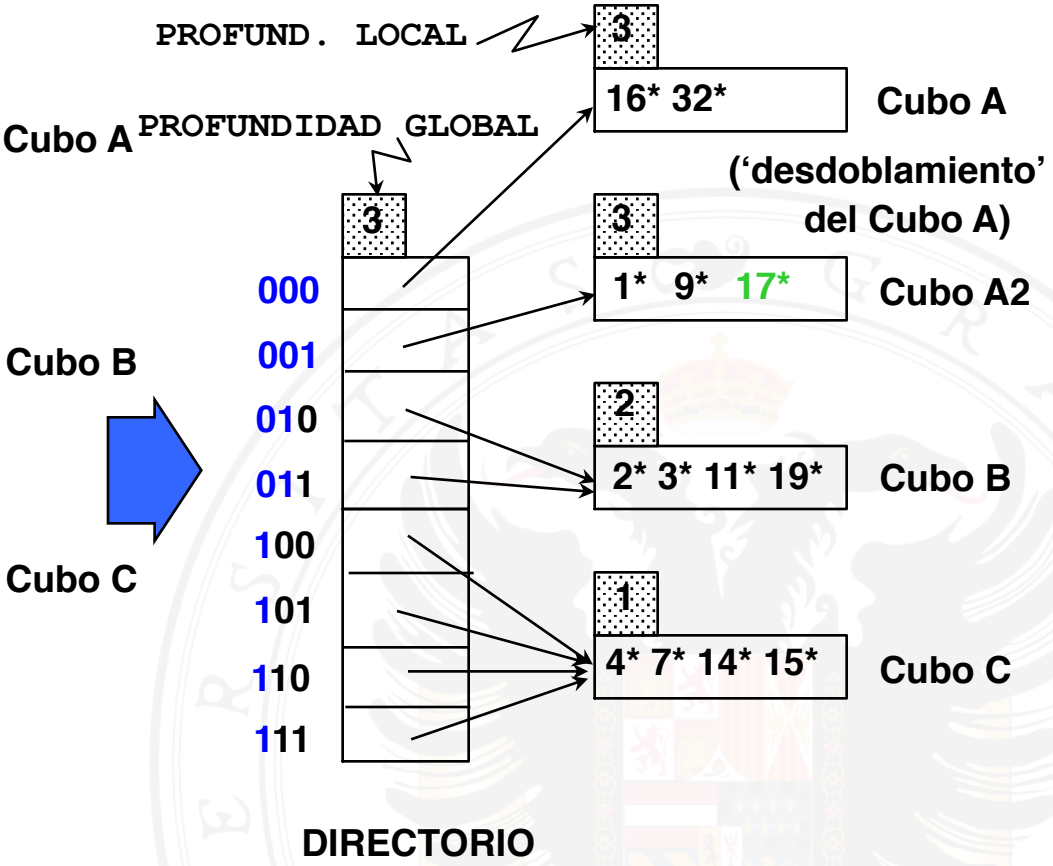


- Directorio: vector de 4 elementos, h(*k*)= k mod 8
- Para encontrar un cubo para *k*, se toman de h(*k*) los últimos bits marcados en *'prof. global'* (2).
  - Si h(*k*) = 3 = en binario 011, cae en el cubo apuntado por 01.

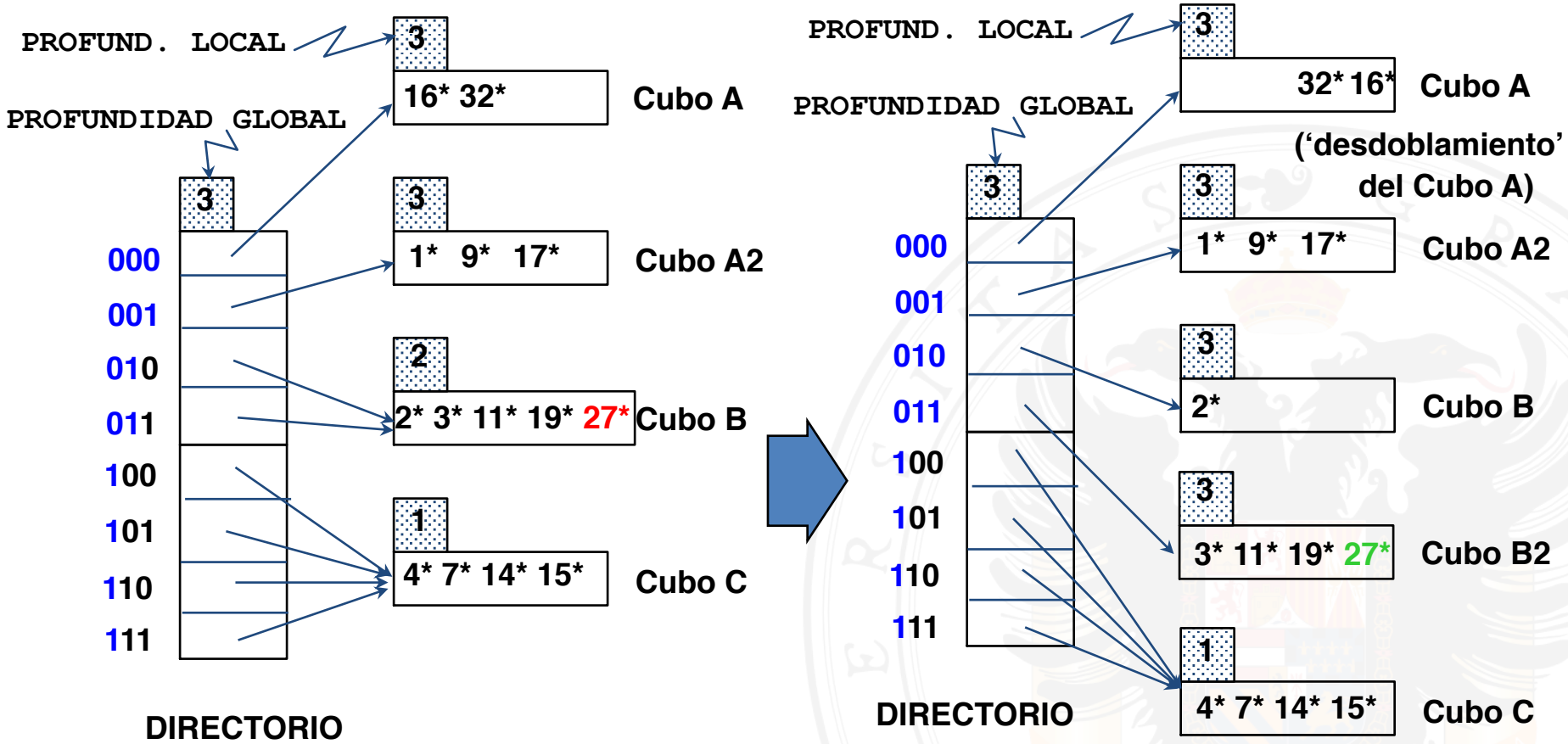
- Inserción: Si el cubo está lleno, se divide y se redistribuyen entre los dos cubos.
- Si es necesario se desdobla el directorio, siempre que la profundidad local sea menor o igual que la global.

Insertamos 17: h(17)=1=001 (causa desdoblamiento del cubo A y del directorio)



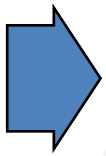


Insertamos 27: h(27)=3 = 011 (sólo causa desdoblamiento del cubo B)



- Ejemplo: Estructura hash dinámica para {2, 3, 4, 7, 11, 19, 23, 29, 31} con función de dispersión: Mod 8 y 3 registros por cubo.

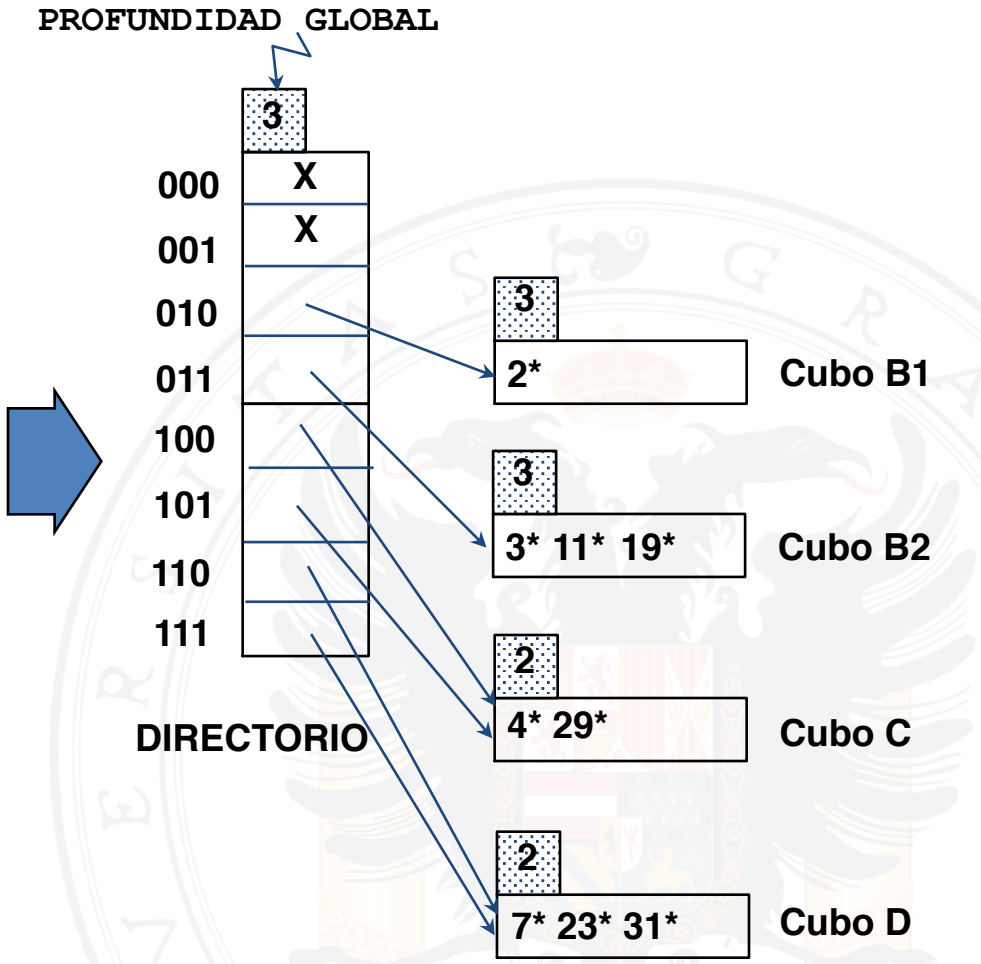
Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000			
001			
010	2		
011	3,11,19		
100	4		
101	29		
110			
111	7,23,31		



Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000		NA	
001			
010	2	3	
011	3,11,19	3	
100	4,29	2	
101			
110	7,23,31	2	
111			

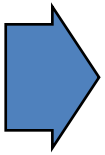
- Ejemplo: Estructura hash dinámica para {2, 3, 4, 7, 11, 19, 23, 29, 31} con función de dispersión: Mod 8 y 3 registros por cubo.

Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000		NA	X
001			X
010	2	3	CuboB1
011	3,11,19	3	CuboB2
100	4,29	2	CuboC
101			
110	7,23,31	2	CuboD
111			



- Ejemplo: eliminamos 11 y 31.

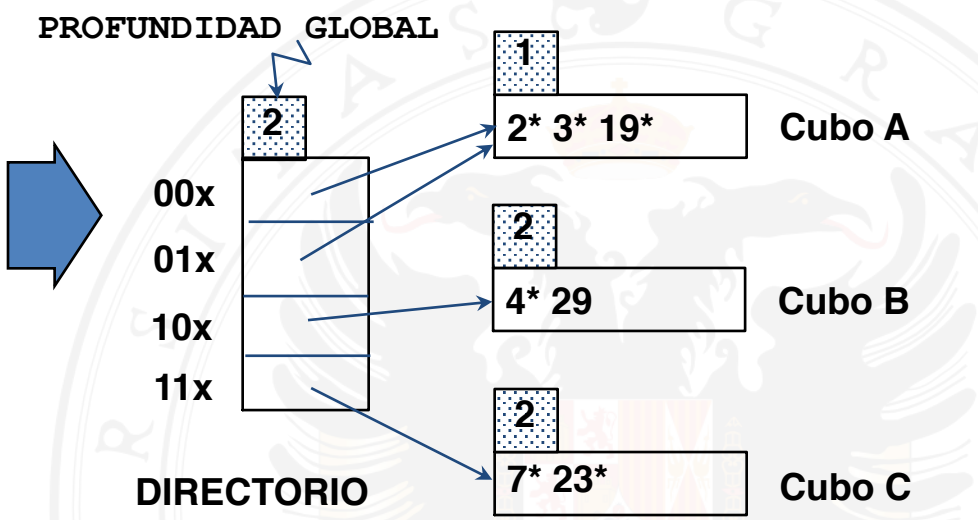
Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000		NA	X
001			X
010	2	3	
011	3,~~11~~,19	3	
100	4,29	2	
101			
110	7,23,~~31~~	2	
111			



Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000	2,3,19	1	
001			
010			
011			
100	4,29	2	
101			
110	7,23	2	
111			

- Ejemplo: eliminamos 11 y 31.

Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000	2,3,19	1	CuboA
001			
010			
011			
100	4,29	2	CuboB
101			
110	7,23	2	CuboC
111			



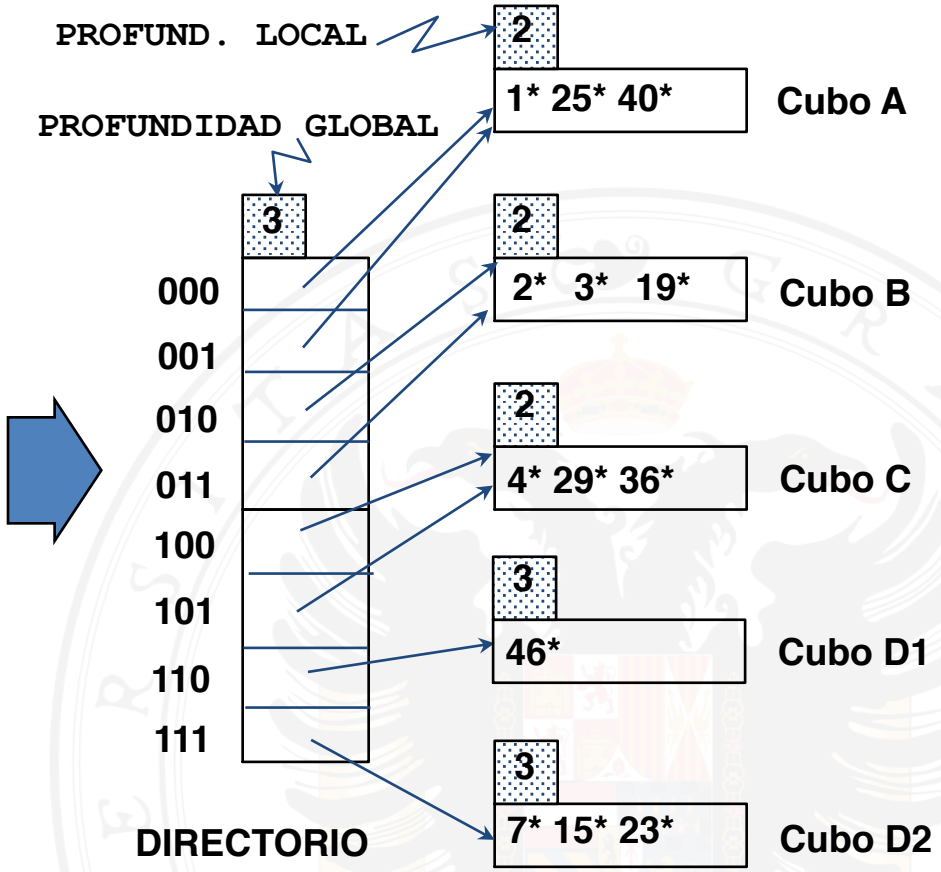
- Ejemplo: insertamos 1, 15, 36, 40, 46 y 25.

Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000	1,2,3, 19,25, 40	1	Cubo A
001			
010			
011			
100	4,29,36	2	Cubo B
101			
110	7,15, 23,46	2	Cubo C
111			

Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000	1,25,40	2	
001			
010	2,3,19	2	
011			
100	4,29,36	2	
101			
110	46	3	
111	7,15,23	3	

- Ejemplo: insertamos 1, 15, 36, 40, 46 y 25.

Mod 8 (bin)	Nº	Prof. Local	Puntero
000	1,25,40	2	Cubo A
001			
010	2,3,19	2	Cubo B
011			
100	4,29,36	2	Cubo C
101			
110	46	3	CuboD1
111	7,15,23	3	CuboD2



- El hashing dinámico supera los problemas clásicos del acceso directo.

- También tiene sus inconvenientes:
  - Utilizar una tabla índice adicional (nuevos accesos a disco si no cabe en memoria).
  - El tamaño máximo de la tabla depende de “n” y, por tanto, de la función de dispersión que se elija: número de valores distintos M que pueda devolver.

- Para usar acceso mediante hash en un SGBD (p.e. Oracle), es preciso crear un "*cluster hash*" y asociar una o dos tablas a ese clúster.
- Ejemplo: "*Cluster Hash*" con una única tabla:

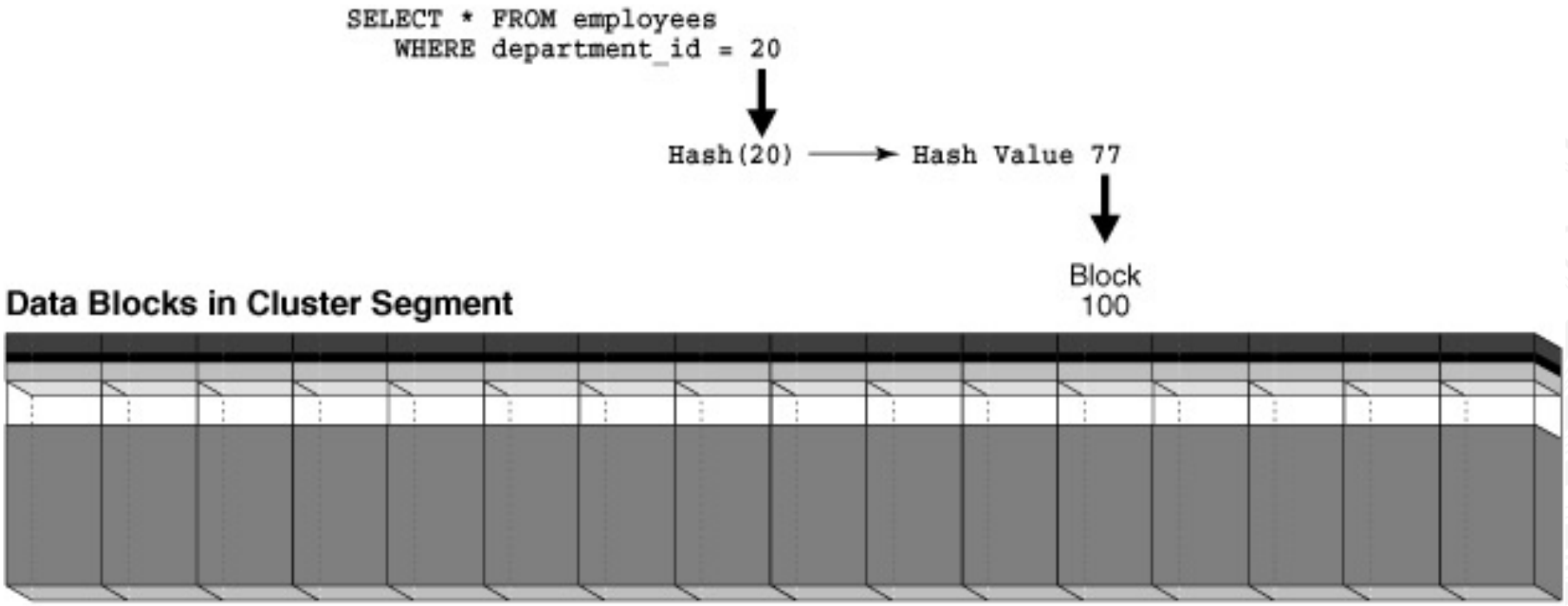
```
1. CREATE CLUSTER emp_hash (empno NUMBER(6)) SIZE 37 SINGLE TABLE
   HASHKEYS 1000;
2. CREATE TABLE employees (empno NUMBER(6) PRIMARY KEY, last_name
   VARCHAR2(30), department_id NUMBER(4)) CLUSTER emp_hash(empno);
```

- La cláusula HASHKEYS indica que se trata de un clúster accedido mediante hash:
  - El valor proporcionado (1000) indica la cantidad de valores hash que se van a generar (unos 1000 códigos de empleado).
  - Oracle busca el número primo superior a éste (1007 en este ejemplo) y esa será la cantidad de valores distintos que va generar.

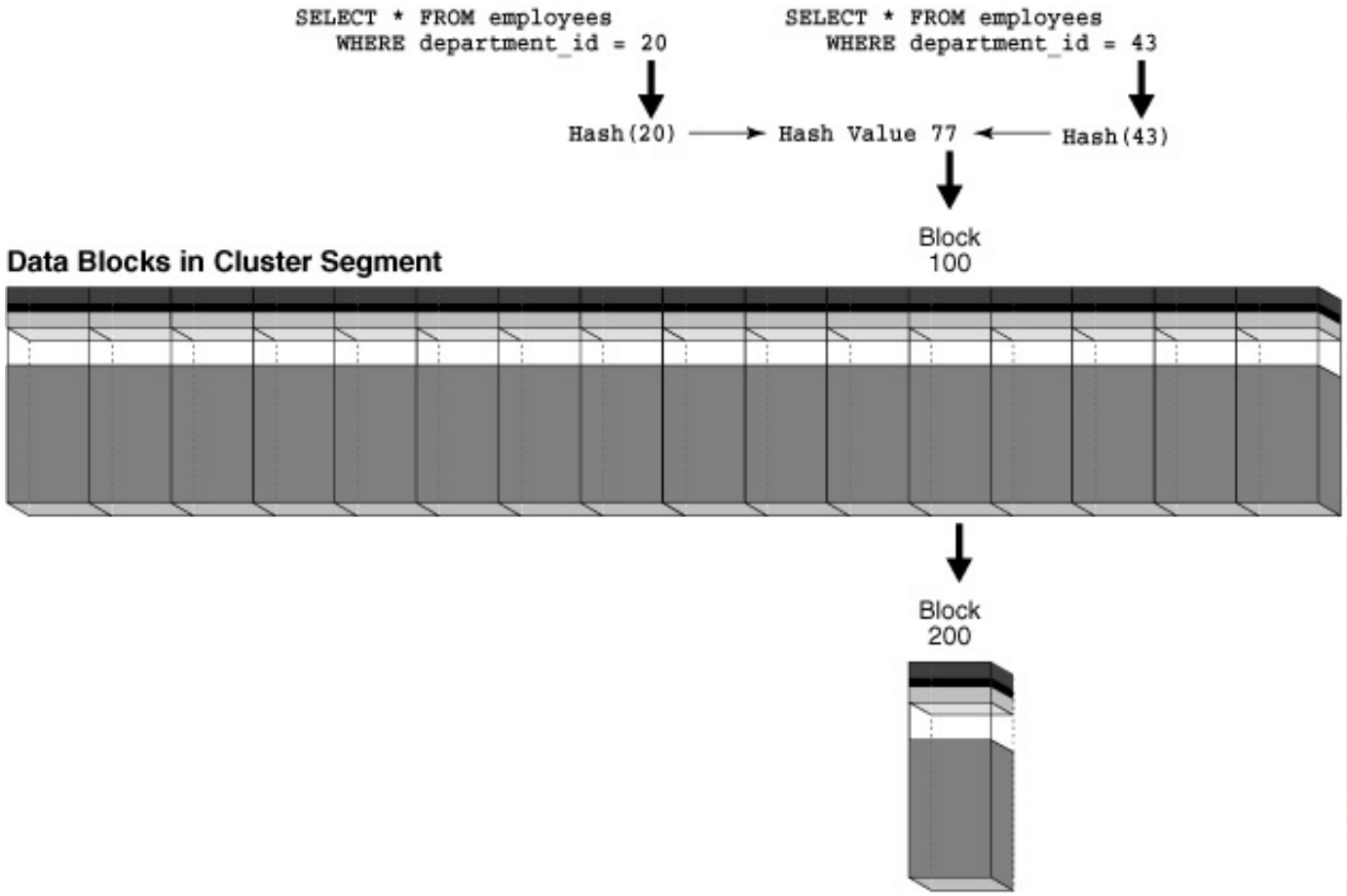
- Mediante la cláusula SIZE debemos estimar el tamaño que van a ocupar todas las tuplas (empleados) que tomen un mismo valor para la clave hash (empno).
  - En este caso hay una tupla por cada valor de la clave y su tamaño, teniendo en cuenta el de sus atributos, es de 37 bytes.

- La cláusula HASH IS se puede usar si se cumple que la clave del clúster está compuesta por un único atributo de tipo NUMBER y contiene enteros uniformemente distribuidos.
  - Esas premisas se dan en el ejemplo, por lo que se podría incluir la cláusula HASH IS empno en la sentencia.
  - Esto además implicaría que no se usaría la función “hash” implementada por defecto en Oracle.

- El acceso a un empleado mediante hash a través de su código de departamento, sería:

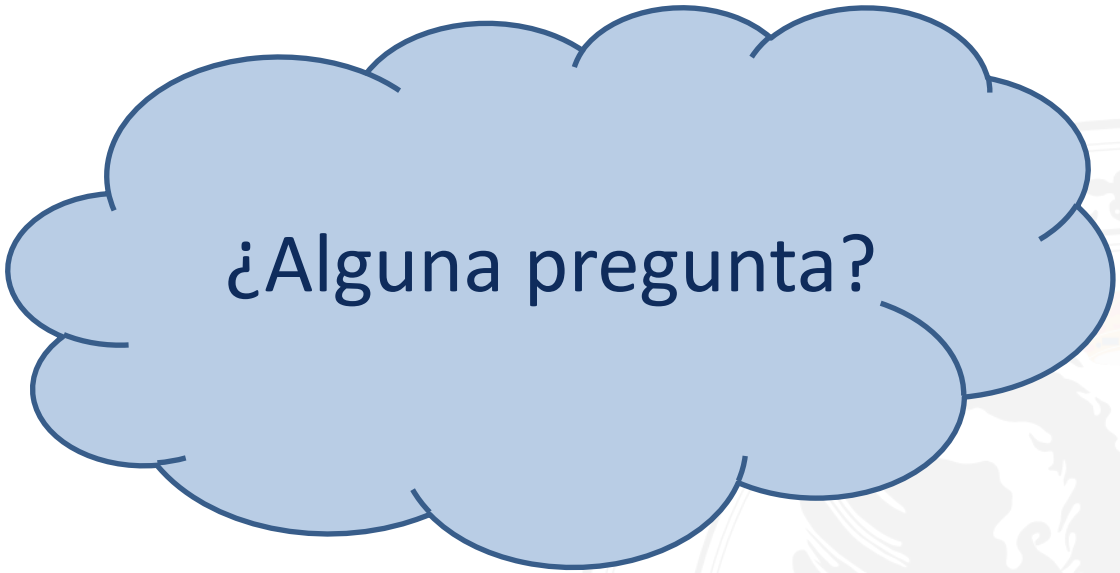


- Si al completar las inserciones de empleados se produjera un desbordamiento del bloque 100, entonces haría falta una lectura adicional en el bloque de desbordamiento:



- Comparativa de uso de índice normal frente a hash:

Criterio	Índice	Hash
Distribución uniforme de la clave	X	X
Distribución dispersa de los valores de la clave		X
Clave infrecuentemente actualizada	X	X
Tablas maestro-detalle reunidas a menudo		X
Cantidad predecible de valores para la clave		X
Consultas usando = sobre la clave		X


¿Alguna pregunta?