Programación y Administración de Sistemas

6. Organización de sistemas de ficheros y discos

Pedro Antonio Gutiérrez

Asignatura "Programación y Administración de Sistemas"
2º Curso Grado en Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
(Universidad de Córdoba)
pagutierrez@uco.es

30 de abril de 2021

Objetivos del aprendizaje I

- Distinguir entre discos duros rígidos y discos duros SSD.
- Enumerar las partes de las que está compuesto un disco duro rígido.
- Explicar qué es el sistema de archivos de un sistema operativo y cómo funciona.
- Analizar la estructura del sistema de archivos: bloques de carga, bloques de datos, metainformación, superbloques, descriptores físicos, mapas de bits, listas de recursos libres...
- Dividir el servidor de archivos de un sistema operativo en los componentes que lo forman: sistema de archivos virtual, módulo de organización de archivos, servidor de bloques y manejadores de dispositivos, analizando la función de cada uno.

Objetivos del aprendizaje II

- Establecer la distintas opciones para implementar la asignación de bloques (con las distintas alternativas ofrecidas por los diferentes sistemas de archivos).
- Enumerar mecanismos para gestión del espacio libre.
- Enumerar y explicar mecanismos para el incremento de prestaciones mediante el uso de caché.

Contenidos I

Evaluación

- Cuestionarios objetivos.
- Pruebas de respuesta libre.

Introducción

- La función principal de un disco duro es almacenar la información del PC cuando no se encuentra conectado a la corriente eléctrica.
- También puede servir de extensión para la memoria RAM, gracias al mecanismo de memoria virtual (intercambio).
- En la actualidad, existen dos tecnologías que conviven en los discos duros: la de los SSD y la de los discos rígidos.
- Los discos rígidos funcionan de forma parecida a un tocadiscos, mientras que los discos SSD (*Solid State Disk* o, mejor, *Solid State Drive*) utilizan una memoria formada por semiconductores para almacenar la información (similar a *pendrives* o tarjetas de memoria).

Discos rígidos

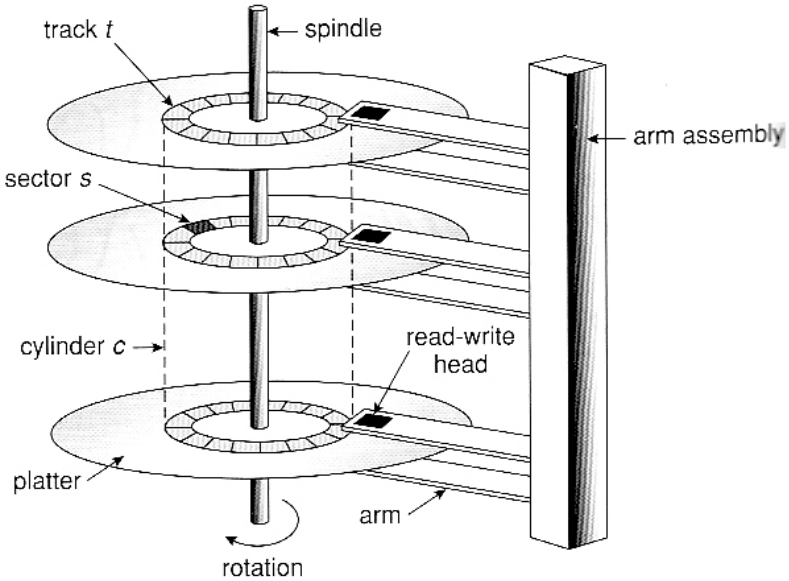


Figure 12.1 Moving-head disk mechanism.

Discos rígidos

- ¿De qué esta compuesto un disco duro rígido?
  - Plato: Cada uno de los discos que se encuentran apilados en su interior, cubiertos de un material magnetizable (de aluminio o cristal). La escritura cambia el estado de este material.
  - Cabezal: es un brazo que se mueve sobre el plato. Como los discos giran, permite acceder a cualquier punto de los mismos.
  - Pista: Se trata de cada una de las líneas esféricas que se pueden formar sobre cada plato.
  - Cilindro: Conjunto de varias pistas que se encuentran una encima de otra.
  - Sector: Cada una de las divisiones que se hace de la circunferencia que se forma en el disco. Normalmente en un sólo sector tendremos varios cientos de *bytes* de información.
- Indicando el cilindro, la cabeza y el sector podemos acceder a cualquier dato del disco.

Discos rígidos: escritura

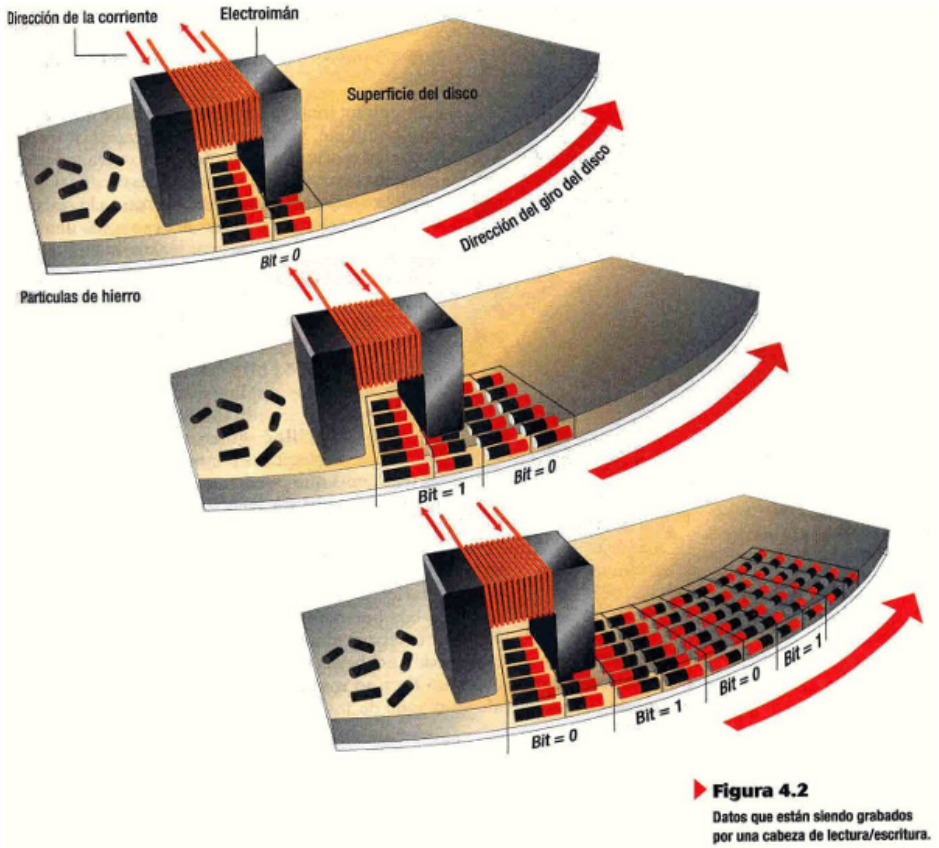


Figura 4.2
Datos que están siendo grabados por una cabeza de lectura/escritura.

Archivos

- Archivo: unidad de almacenamiento lógico no volátil que agrupa un conjunto de información relacionada entre si bajo un mismo nombre.
  - Un archivo debe poseer un nombre que permita acceder al mismo de forma unívoca.
  - Este nombre incluye una extensión (`.txt`, `.zip`...) que identifica el tipo de archivo.
  - El acceso a un archivo puede ser secuencial (para acceder a una posición hay que acceder antes a las anteriores) o directo/aleatorio (se puede acceder a cualquier posición).

Sistema de Archivos

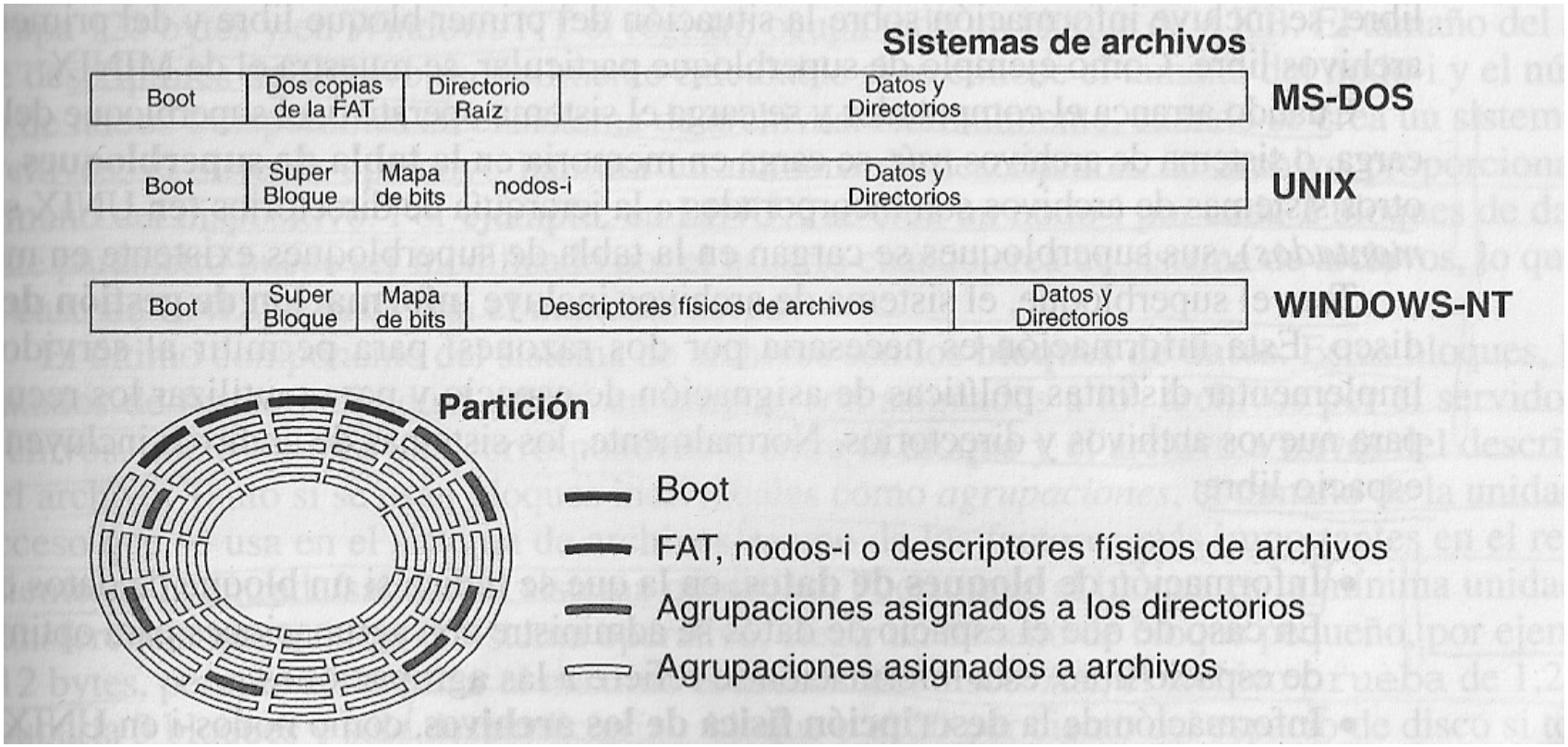
Sistema de Archivos/Ficheros (SA/SF)

- Organiza la información de los dispositivos de almacenamiento secundario (disco duro, disco extraíble, DVDs, CDRom...).
- El dispositivo se divide manera lógica para que quede organizado de una forma inteligible para el SO.
- La división se hace a múltiples niveles:
  - Particiones o volúmenes.
  - Bloques.
  - Agrupaciones.

Sistema de Archivos

- Partición: porción de un disco a la que se le dota de una identidad propia y que se manipula como un entidad lógica independiente.
  - Las particiones deben formatearse para que se creen las estructuras necesarias que permiten al SO manipular el disco.
- Bloque: agrupación lógica de sectores físicos del disco, la cual supone la unidad de transferencia mínima que usa el SA.
  - El tamaño de bloque es un parámetro decisivo que afecta a la eficiencia del acceso a disco y a la fragmentación del mismo.
    - Tamaño de bloque pequeño: Mayor número de operaciones de Entrada/Salida (E/S) para acceder al archivo. Menor fragmentación.
    - Tamaño de bloque grande: Menor número de operaciones E/S para acceder al archivo. Mayor fragmentación.
- Agrupación: conjunto de bloques gestionado como una unidad lógica de almacenamiento.

Estructura del Sistema de Archivos



Estructura del Sistema de Archivos

- El bloque de carga (*boot* o *Volume Boot Record*) contiene código ejecutado al arrancar el ordenador por el iniciador ROM utilizando esa partición.
  - El MBR apunta al VBR de la partición activa[1].
  - Se suele incluir en todas las particiones (aunque no contengan el SO) para así mantener una estructura uniforme.
  - Se añade un número mágico, el cuál será comprobado por el iniciador ROM para demostrar que el bloque de carga es válido.
- Metainformación: super-bloques, FAT, nodos-i, mapas de bits, descriptores físicos...
  - Describe el SA y la distribución de sus componentes.
  - Es necesaria para poder acceder a los datos.

[1] `https://whereismydata.wordpress.com/2008/08/23/file-systems-mbr-and-volume-boot-record-basic/`

Estructura del Sistema de Archivos

- Superbloque: características del SA, posición de los distintos elementos, tamaño...
  - Se mantiene una serie de información común para todos los SAs y una entrada característica para cada tipo de SA.
  - Al arrancar la máquina, los superbloques de todos los SAs que son cargados se mantienen en memoria.
- Descriptores físicos de archivos: nodos-i, registros de Windows-NT...
  - Describen cada uno de los archivos almacenados.
  - Tienen una estructura y tamaño muy dependiente del SO.
  - El número de descriptores debe ser proporcional al tamaño total del disco.
  - Incluyen: tamaño, apuntadores a los bloques del archivo, permisos, propietarios...

Estructura del Sistema de Archivos

- Gestión del espacio libre: distintos mecanismos permiten gestionar el espacio libre.
  - Se pueden utilizar mapas de bits o listas de recursos libres.
  - Gestión de dos tipos de recursos:
    - Mapas de bloques: indican qué bloques (o agrupaciones) están libres.
    - Mapas de descriptores de archivos: indican qué descriptores de archivos (nodos-i, registros...) están libres.
- Bloques de datos: es dónde se almacena realmente la información.

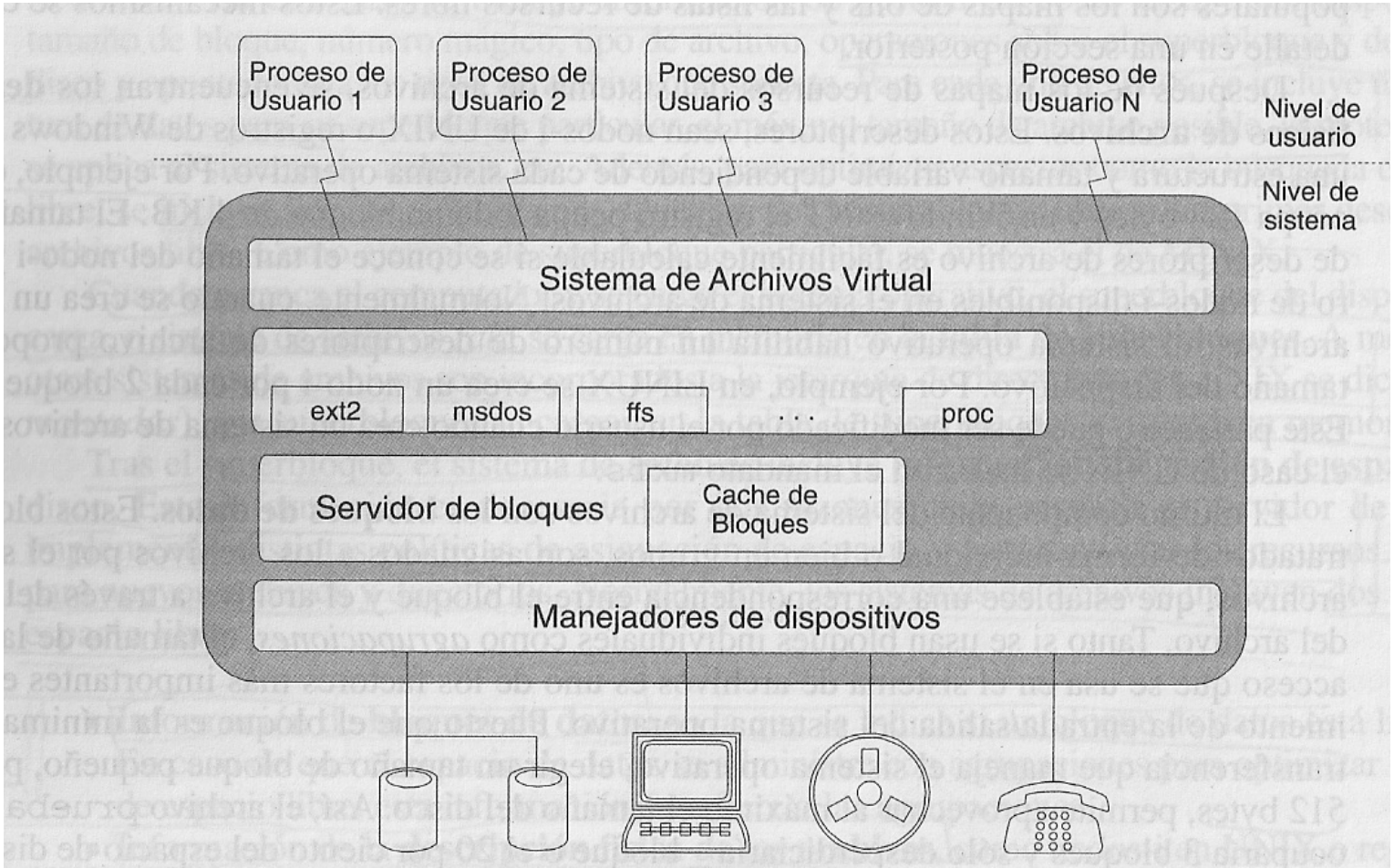
Servidor de Archivos

- Servidor de Archivos: es el componente del SO que se encargará de gestionar el acceso a archivos.
- Se sigue una filosofía de organización en capas.
  - Los niveles inferiores proporcionan servicios a los niveles superiores, y en cada nivel se aumenta la abstracción de las operaciones.

Capas del servidor de archivos

1. Sistema de archivos virtual (+ abstracto).
2. Módulo de organización de archivos.
3. Servidor de bloques.
4. Manejadores de dispositivos (- abstracto).

Servidor de Archivos



Servidor de Archivos

1. Sistema de archivos virtual:
   - Proporciona la interfaz para las llamadas de E/S que deseen realizar los procesos de usuario, interactuando con el módulo de organización de archivos.
   - Cumple las funciones de manejo de directorios, gestión de nombres, servicios de seguridad, integración de archivos de distintos dispositivos/particiones...
   - Por ello, es necesario utilizar una estructura adicional (nodos virtuales o nodos-v en UNIX), que incluye las características comunes a todos los sistemas de archivos y un enlace al descriptor de archivo particular (nodo-i o registro).

Servidor de Archivos

1. Sistema de archivos virtual:
   - Hay operaciones genéricas que se pueden realizar en cualquier SA (caché de nombres, gestión de nodos virtuales...).
   - Otras operaciones deben ser implementadas independientemente para cada tipo de SA.
   - Los nodos virtuales contienen la siguiente información:
     - Atributos del archivo.
     - Puntero al nodo-i real.
     - Punteros a funciones que realizan las operaciones genéricas de cualquier SA.
     - Punteros a funciones que realizan las operaciones propias del SA concreto.

Servidor de Archivos

2. Módulo de organización de archivos:
   - Se implementa por separado para cada tipo de SA.
   - Relaciona la imagen lógica de un archivo con su imagen física, traduciendo direcciones lógicas (contiguas) del archivo a las direcciones físicas (normalmente dispersas) del dispositivo.
   - Se prestan los servicios de gestión de espacio libre y manejo de descriptores de archivos físicos (no virtuales).
   - Este nivel se basa en la información de los nodos-i y utiliza los servicios del servidor de bloques para realizar las operaciones correspondientes.

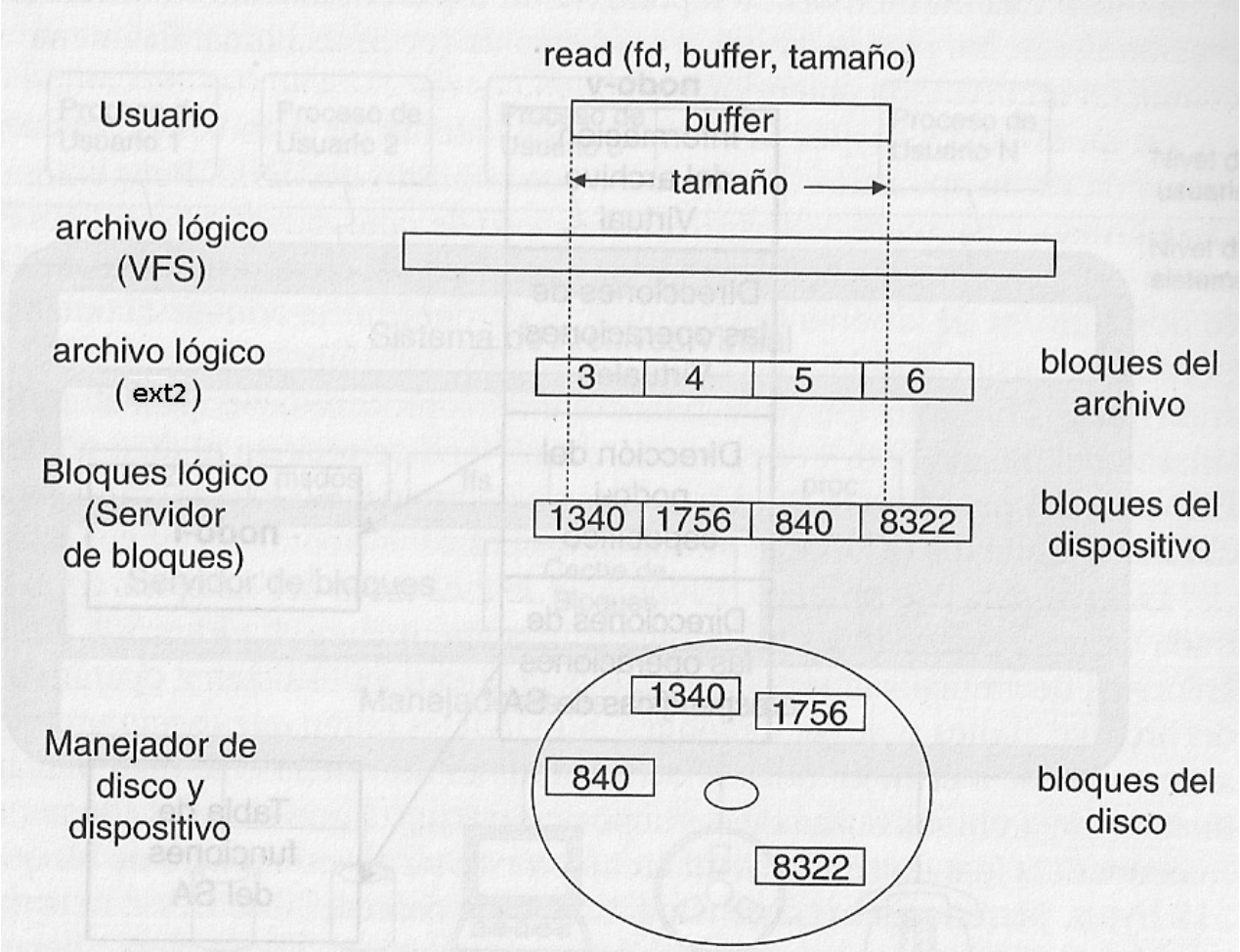
Servidor de Archivos

3. Servidor de bloques:
   - Este nivel emite los mandatos genéricos para leer y escribir bloques en los manejadores de dispositivo (E/S de bloques).
   - Se traducirán en llamadas al manejador específico del SA.
   - En este nivel se realiza la caché de bloques.

Servidor de Archivos

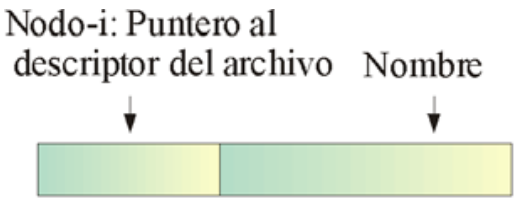
4. Manejadores de dispositivos:
   - Son específicos para cada *hardware*.
   - Traducen órdenes de E/S de alto nivel a un formato que pueda entender el dispositivo (dependiente del *hardware*).

Servidor de Archivos

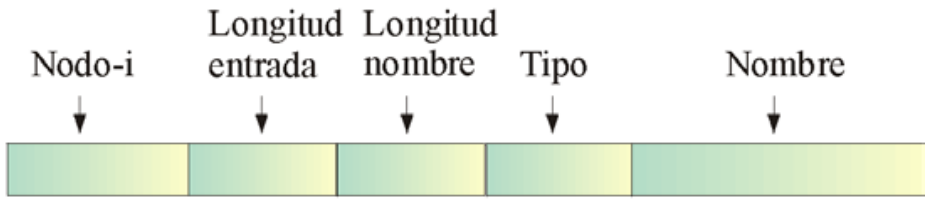


Directorios

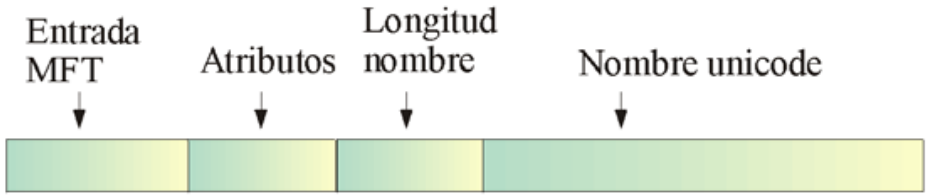
- Un directorio es un fichero con un formato determinado.
- El contenido de un directorio es una serie de entradas (registros), una por cada fichero contenido en él.
- Cada registro tiene, al menos, el nombre del fichero y el puntero al descriptor físico correspondiente.



Directorio de UNIX SV

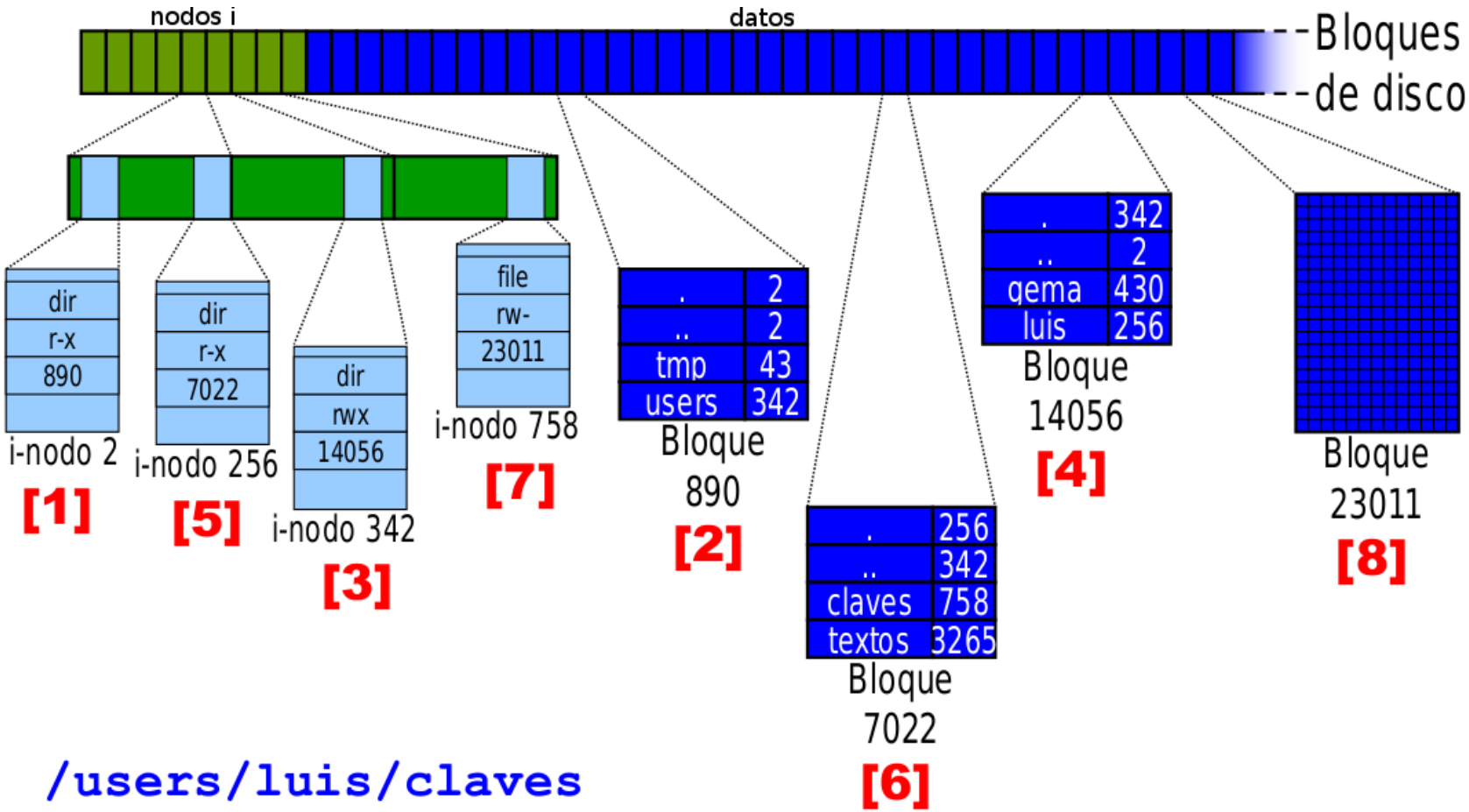


Directorio de LINUX Ext2



Directorio de Windows NTFS

Directorios

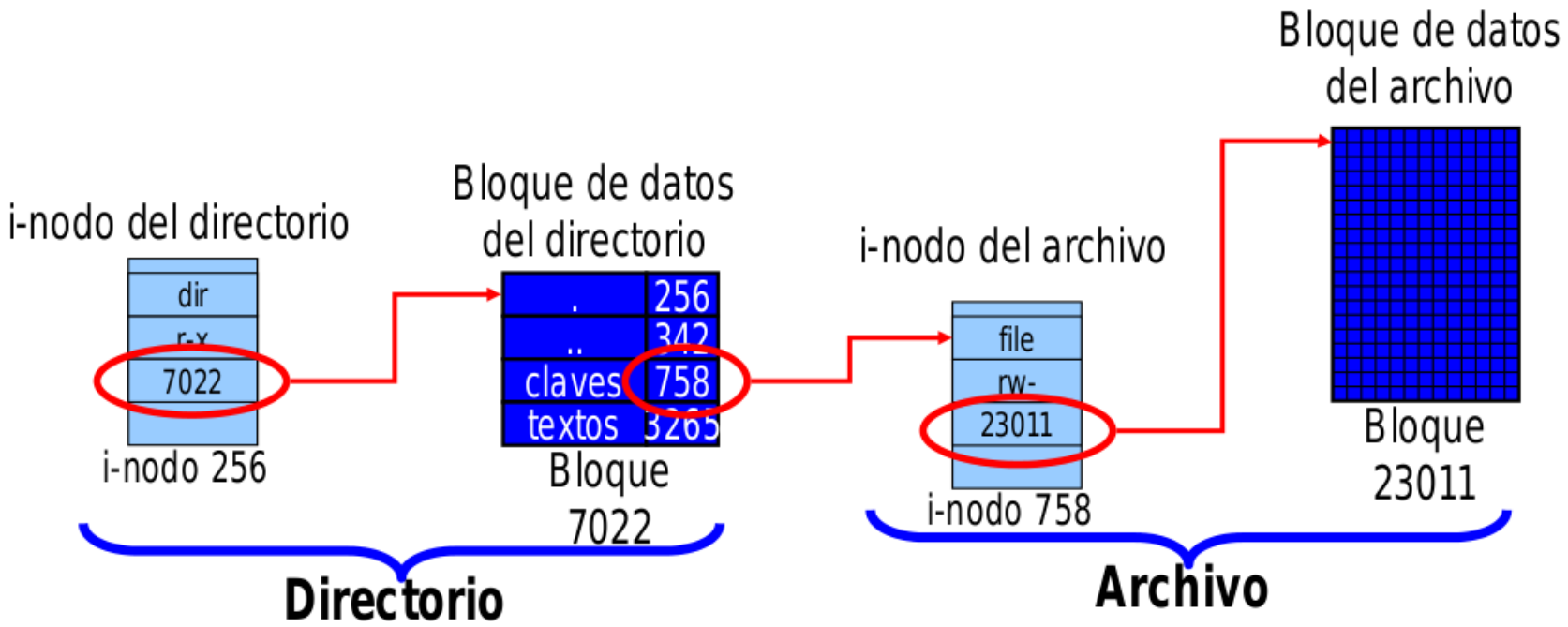


Directorios

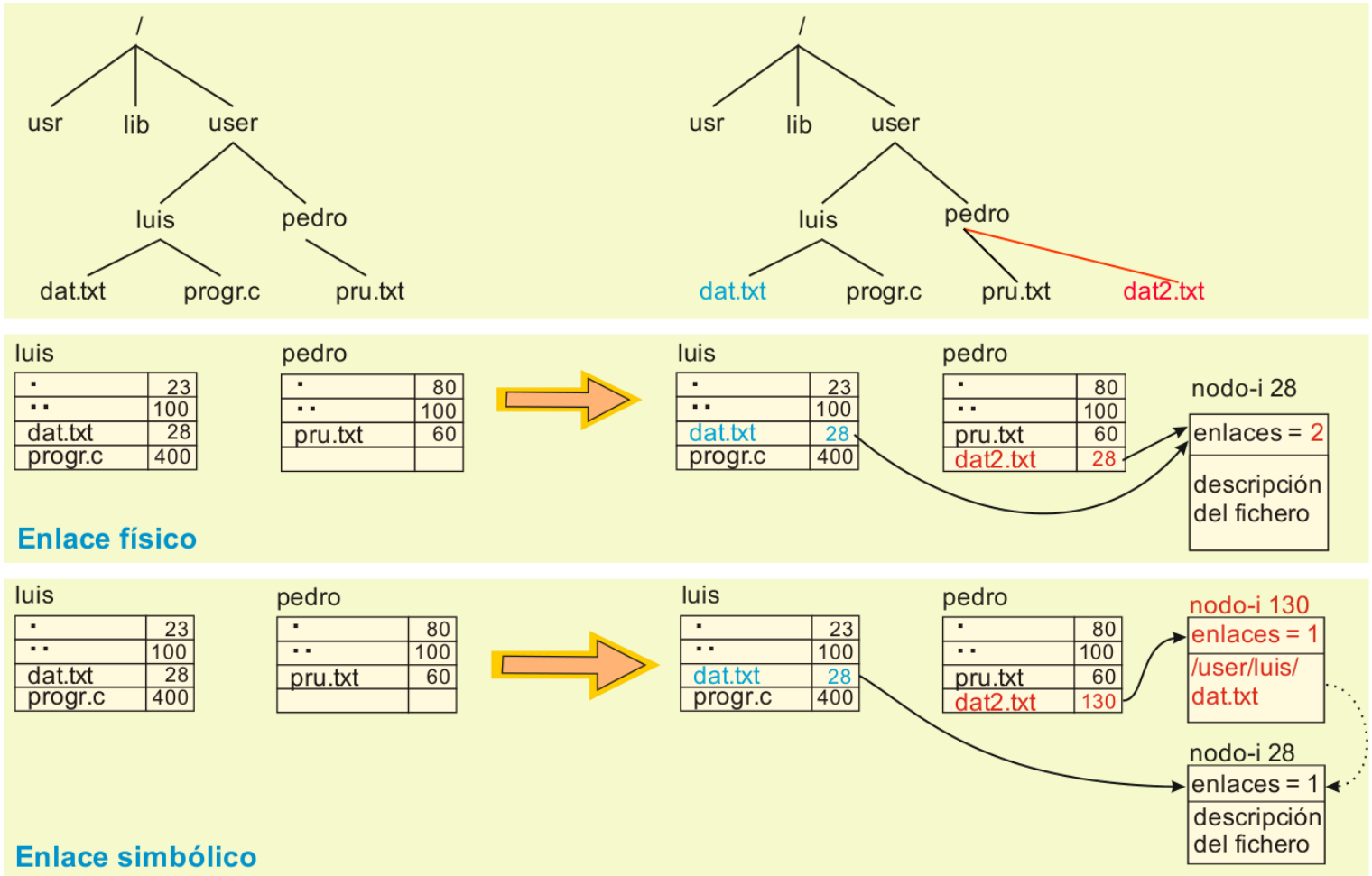
- La ruta `/users/luis/claves` se interpreta de forma recursiva:
  1. Traer a memoria bloque del i-nodo 2 (i-nodo raíz, conocido).
  2. Se busca dentro `users` y se obtiene el i-nodo 342.
  3. Traer a memoria bloque del i-nodo 342.
  4. Se busca dentro `luis` y se obtiene el i-nodo 256.
  5. Traer a memoria bloque del i-nodo 256.
  6. Se busca dentro `claves` y se obtiene el i-nodo 758.
  7. Al leer el i-nodo 758, se detecta que es un fichero y ya se tienen dónde están los datos del archivo.
  8. Leer los bloques del fichero.
- ¿Cuándo parar?
  - No se tienen permisos.
  - Se ha encontrado el i-nodo del archivo.
  - No se encuentra el siguiente elemento de la ruta.

Directorios

- La llamada `open()` termina con la lectura del i-nodo.
- La verificación de permisos se hace con los datos del i-nodo.
- Un directorio no es un i-nodo:



Enlaces


/
usr
lib
user
luis
pedro
dat.txt
progr.c
pru.txt
dat2.txt
luis
pedro
. 23
.. 100
dat.txt 28
progr.c 400
. 80
.. 100
pru.txt 60
nodo-i 28
enlaces = 2
descripción del fichero
Enlace físico
nodo-i 130
enlaces = 1
/user/luis/ dat.txt
Enlace simbólico

Asignación de bloques

- Asignación: cómo se hace la correspondencia entre los bloques físicos del disco y los bloques lógicos del archivo.
- Mecanismos de asignación:
  - Asignación de bloques contiguos:
    - Todos los bloques del archivo se encuentran contiguos en el disco.
      ☺ Muy sencillo de implementar.
      ☺ Accesos secuencial y directo muy rápidos.
      ☹ Necesario saber el tamaño del archivo al crearlo.
      ☹ Fragmentación del disco.
      ☹ Para añadir datos al archivo, puede que haya que moverlo.
    - Por todo ello, no se utiliza.

Asignación de bloques

- Mecanismos de asignación:
  - Asignación de bloques no contiguos:
    - Los bloques del archivo se encuentran en cualquier posición del disco.
      ☺ Se produce menos fragmentación → el primer bloque asignado es el primero que hay libre.
      ☹ Es necesario traducir el número de bloque lógico al número de bloque en el dispositivo.
    - Es la opción utilizada en la mayoría de SOs.
- Para tener constancia de qué bloques no contiguos pertenecen a cada archivo, se utilizan listas enlazadas o índices (que pueden ser multinivel).
  - ISO9660: Inicio y tamaño (fichero contiguo).
  - SF MS-DOS: FAT (fichero enlazado).
  - SF UNIX: i-nodo (fichero indexado).
  - NTFS: Registro Windows (fichero indexado).

Asignación de bloques

Lista enlazada

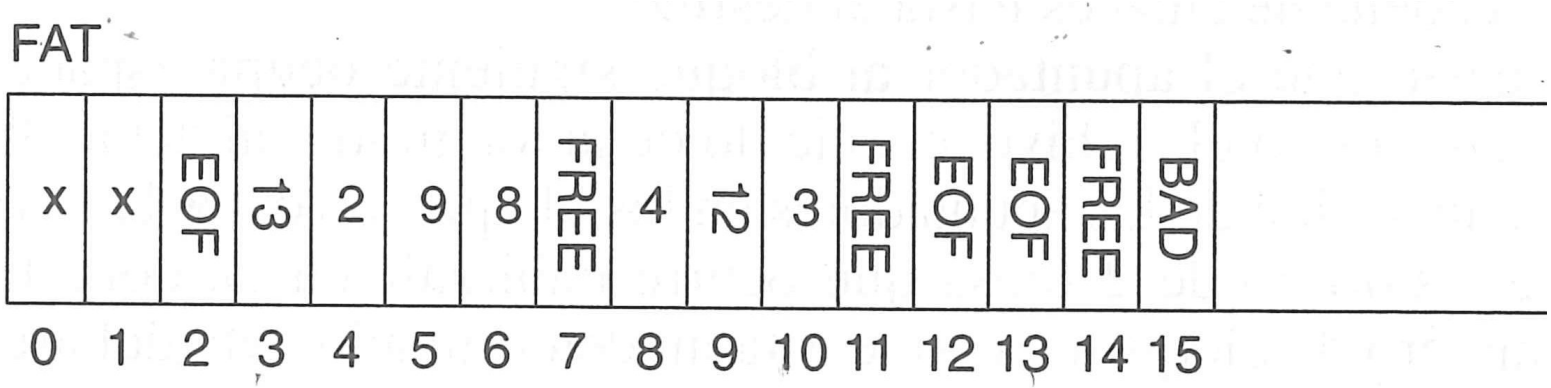
- Cada bloque tiene un apuntador al siguiente bloque que seguiría en el archivo.
- El descriptor del archivo solo debe incluir la referencia al primer bloque.
  ☺ El acceso secuencial es muy rápido.
  ☹ El acceso aleatorio a un bloque concreto de un archivo es muy costoso.
  ☹ Cada bloque incluye un apuntador que aumenta su tamaño (y complica el cálculo de espacio libre).
  ☹ La pérdida de un bloque supone perder el archivo completo.

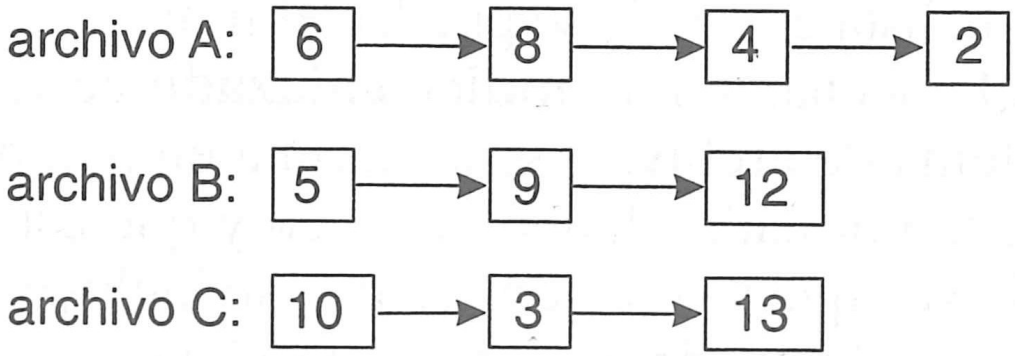
Asignación de bloques

Tabla de asignación de archivos

- Es una variación del método lista enlazada.
- Los apuntadores se almacenan en una tabla independiente de los bloques (*File Allocation Table*, FAT).
- La tabla posee una entrada por cada bloque del SA.
- La FAT ocupará un espacio prefijado en la partición.
- Descriptor fichero $\rightarrow$ incluye su primera posición en la tabla.
- Acceso aleatorio al archivo: recorriendo la tabla.
- La tabla se aloja en caché para mejorar las prestaciones y se mantiene una copia doble en el disco para mayor fiabilidad.
  ☹ ¡La FAT puede llegar a ocupar mucho! $\rightarrow$ agrupaciones.

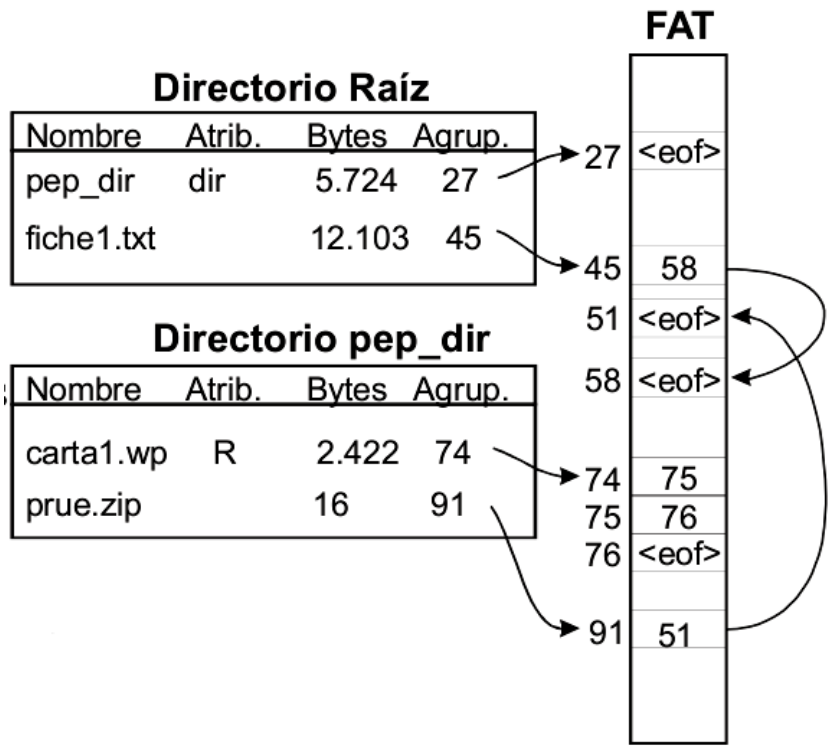
Asignación de bloques





Asignación de bloques

- FAT de 12 bits: 4K agrupaciones.
- FAT de 16 bits: 64K agrupaciones.
- FAT de 32 bits: 2^{28} agrupaciones (solo usa 28 bits).
  Tamaño de fichero en directorios $\rightarrow$ 32 bits.
  Tamaño máximo $\rightarrow 2^{32} - 1 = 4GB - 1$



Asignación de bloques

Índices

- Los punteros a los bloques están juntos y contiguos en una localización concreta → Bloques índice.
- Cada archivo tiene un bloque índice.
- Para buscar el *i*-ésimo bloque de un fichero, buscamos la *i*-ésima entrada en su bloque índice
  ☺ Buen acceso directo.
  ☺ Se evita la fragmentación.
  ☹ ¿Tamaño del bloque índice? → debe fijarse un número de entradas y hay que reservar espacio para todas ellas.
  ☹ Limitamos el tamaño máximo de los archivos.

Asignación de bloques

Índice multinivel

- Consiste en introducir *n* niveles de apuntadores, de manera que los apuntadores del descriptor apuntan a otros.
- Índice multinivel de nivel 1: el bloque índice apunta a otros bloques índices que finalmente apunta a un bloque de datos del fichero.

  ☺ Evita tener que prefijar el tamaño del bloque índice (podemos poner apuntadores a NULL).

  ☺ El bloque índice tendrá un número pequeño de entradas.

  ☹ Cada nivel, supone un acceso a disco adicional.

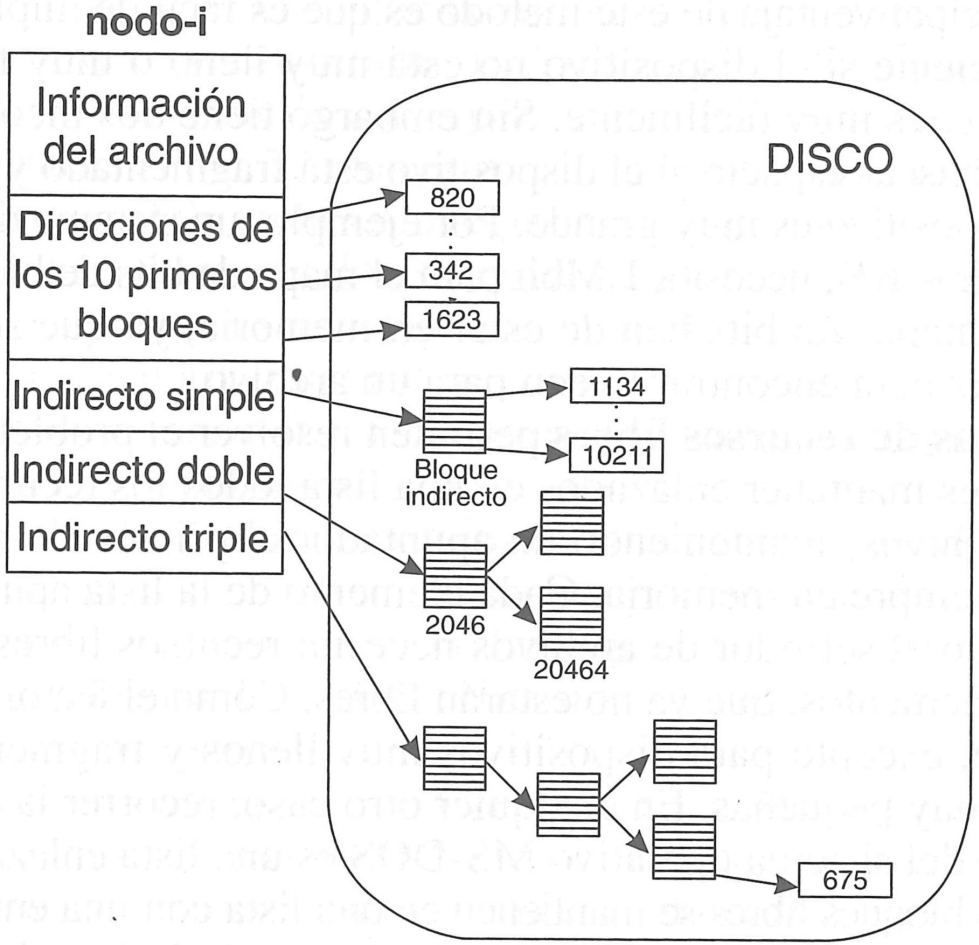
  ☹ Para archivos pequeños, se desaprovechan muchos bloques índice.

Asignación de bloques

Solución UNIX → Esquema híbrido

- Por cada nodo-i incluir 15 punteros:
  - Punteros directos a los 12 primeros bloques (para archivos pequeños). Nota: la siguiente figura indica 10 erróneamente.
  - Puntero a un bloque índice de primer nivel (donde encontraremos punteros a bloques).
  - Puntero a un bloque índice de segundo nivel (donde encontraremos punteros a punteros a bloques).
  - Puntero a un bloque índice de tercer nivel (donde encontraremos punteros a punteros a punteros a bloques).
- Bloques del disco: bloques de datos o bloques índice.
- En ext4 y en NTFS existen los extents (bloques índice especiales que marcan una zona contigua del disco "numeroBloqueInicial, numeroBloques").

Asignación de bloques: indexado multinivel



Gestión del espacio libre

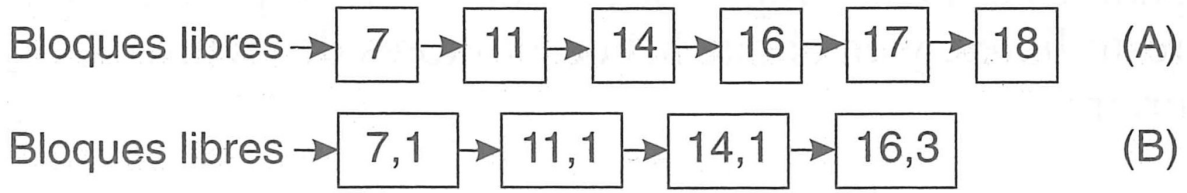
- Gestión del espacio libre: se necesita para asignar espacio a los archivos nuevos o a los que se les desea añadir datos.
- Se mantienen mapas de recursos, implementados como mapas de bits o listas de recursos libres.
  - Mapas de bits
    - Se incluye un bit por recurso (descriptor de archivo, bloque o agrupación), que será 1 si el recurso esta libre y 0 en caso contrario.
      ☺ Muy sencillo de implementar y de usar.
      ☺ Disco poco fragmentado → bloques libres al final, búsqueda muy eficiente.
      ☹ Disco fragmentado → búsqueda más costosa.
      ☹ Espacio adicional requerido por el mapa.
    - FAT: la propia tabla actúa como mapa de recursos.

Gestión del espacio libre

- Gestión del espacio libre.
  - Listas de recursos libres
    - Mantener una lista de apuntadores a los recursos libres.
    - Al ocupar un recurso lo borramos de la lista.
      ☺ Muy eficiente para discos muy llenos y fragmentados.
      ☹ Disco con mucho espacio libre → Ineficiente debido a que hay que cargar la lista.
    - Solución → Incluir número de bloques libres consecutivos en la lista.

Gestión del espacio libre: FAT + lista enlazada

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
x	x	EOF	13	2	9	8	FREE	4	12	3	FREE	EOF	EOF	FREE	BAD	FREE	FREE	FREE



Incremento de prestaciones

- Acceso a memoria → orden de nanosegundos.
- Acceso a disco → orden de milisegundos.
  - Almacenamiento intermedio de los datos
    - Mantener una caché de datos en Memoria Principal (MP).
    - Aprovecha la proximidad espacial y temporal en las referencias a los datos accedidos.
    - Caché de nombres: lista con {`nombre`,`nodo-i`}.
      Si se vuelve a acceder al archivo, no hay que hacer toda la búsqueda del `nodo-i`.
    - Caché de bloques: colección de bloques leídos o escritos recientemente.
      Si se vuelve a acceder a ese bloque, no hay que cargarlo de nuevo.

Incremento de prestaciones

- Caché de bloques:
  - Si el bloque está en MP, se escribirá o leerá en MP.
  - Posteriormente, se moverán los bloques de MP al dispositivo.
  - Si la caché está llena, hay que eliminar algún bloque:
    - Políticas de reemplazo: *First In First Out* (FIFO), *Most Recently Used* (MRU), *Least Recently Used* (LRU)...
    - Lo más común es LRU: aprovecha que los bloques no utilizados durante mucho tiempo, posiblemente no volverán a ser utilizados.
      ☹ Peligroso si hay un fallo del SA.

Incremento de prestaciones

- Caché de bloques:
  - Bloques sucios (cambiados en caché pero no en el disco). Distintas políticas a la hora de mantener la coherencia:
    - Escritura inmediata (*write-through*) → Siempre actualizado.
    - Escritura diferida (*write-back*) → Actualizamos cuando el bloque salga de la caché.
    - Escritura periódica (*delayed-write*) → Establecer un tiempo periódico para las actualizaciones.
      Compromiso entre rendimiento y fiabilidad.
      Reduce la extensión de los posibles daños por caídas.
  - Se puede distinguir entre bloques especiales (directorios, nodos-i o bloques índice) y bloques de datos.
    Bloques especiales → *write-through*.
  - No se debe quitar un disco del sistema sin antes volcar los datos de la cache (comando `sync`).

Referencias

Fernando Pérez-Costoya, Jesús Carretero-Pérez y Félix García-Carballeira.
Problemas de Sistemas Operativos. De la base al diseño. Tema 8. Archivos y directorios. Sección 8.4. Sistemas de Archivos.
Mc Graw Hill, Segunda Edición, 2003.

Evi Nemeth, Garth Snyder, Trent R. Hein y Ben Whaley
Unix and Linux system administration handbook.
Capítulo 8. *Storage and disk*.
Prentice Hall. Cuarta edición. 2010.

Programación y Administración de Sistemas

6. Organización de sistemas de ficheros y discos

Pedro Antonio Gutiérrez

Asignatura "Programación y Administración de Sistemas"
2º Curso Grado en Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
(Universidad de Córdoba)
pagutierrez@uco.es

30 de abril de 2021