

Tema 6: Sistemas de ficheros y discos

**Programación y Administración de Sistemas
(2023-2024)**

Javier Sánchez Monedero

16 de mayo de 2024

Tabla de contenidos

1	Objetivos y evaluación	2
2	Introducción	3
3	Sistema de Ficheros	6
4	Servidor de archivos	11
5	Directorios y enlaces	17
6	Asignación de bloques	19
7	Gestión del espacio libre	25
8	Incremento de prestaciones	27
9	Referencias	29

1 Objetivos y evaluación

Objetivos

- **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.
- 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.

Evaluación

- Cuestionarios objetivos.
- Pruebas de respuesta libre.

2 Introducción

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

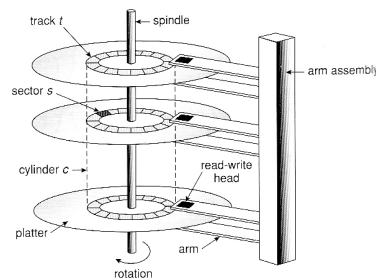
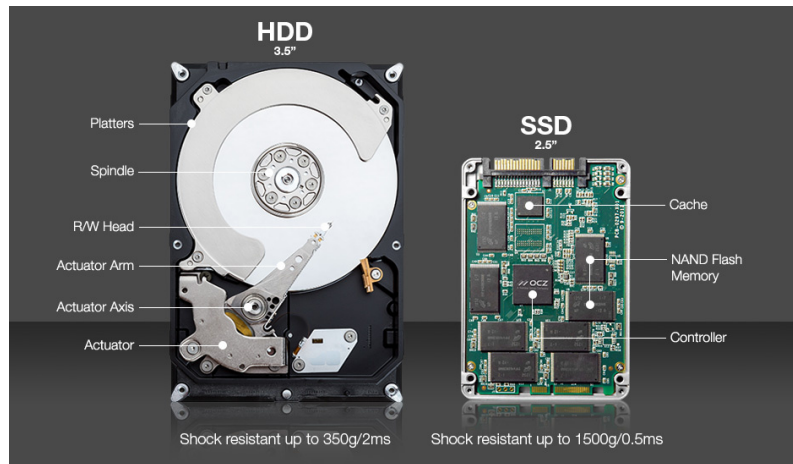


Figure 12.1 Moving-head disk mechanism.

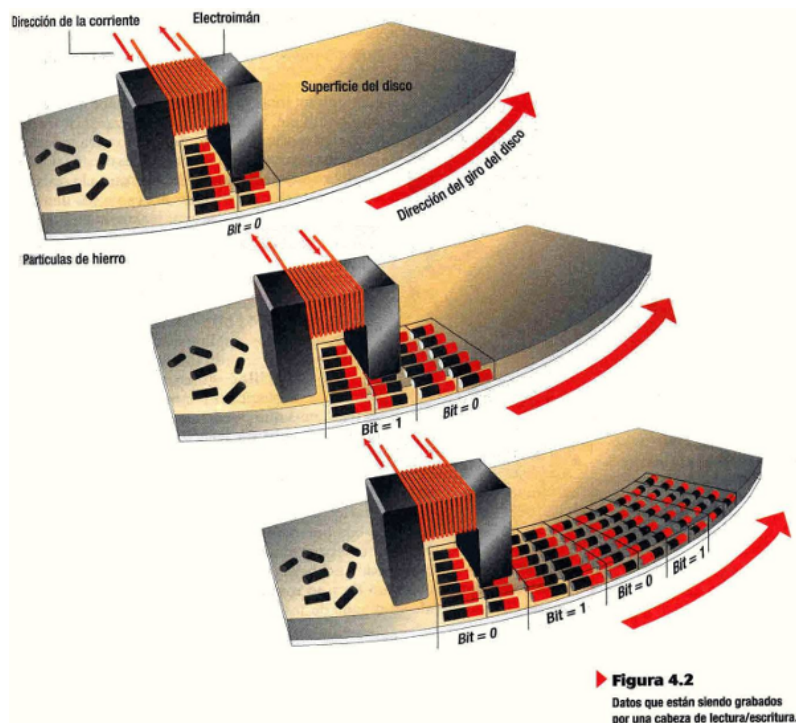
Discos rígidos vs sólidos



Discos rígidos

- ¿De qué está 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



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 (no significa que lo sea obligatoriamente)
- Existen códigos de identificación de tipo de archivos que usan herramientas como `file` (más en [wikipedia](https://es.wikipedia.org/wiki/File)).
- 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).

3 Sistema de Ficheros

Sistema de Ficheros o 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

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.
- Puedes verlas con [**gparted**](#).

Partition	File System	Label	Size	Used	Unused	Flags
/dev/sda1	ntfs	System Reserved	100.00 MiB	24.14 MiB	75.86 MiB	boot
/dev/sda2	ntfs		33.11 GiB	8.89 GiB	24.22 GiB	
▼ /dev/sda3	extended		26.79 GiB	---	---	
/dev/sda5	ext4		24.79 GiB	3.39 GiB	21.41 GiB	
/dev/sda6	linux-swap		2.00 GiB	---	---	
unallocated	unallocated		1.00 MiB	---	---	

0 operations pending

Sistema de Archivos: bloques

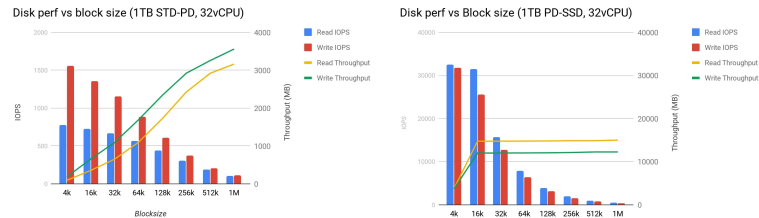
Bloque: agrupación lógica de sectores físicos del disco, la cual supone la unidad de transferencia mínima que usa el SA.

Agrupación: conjunto de bloques gestionado como una unidad lógica de almacenamiento.

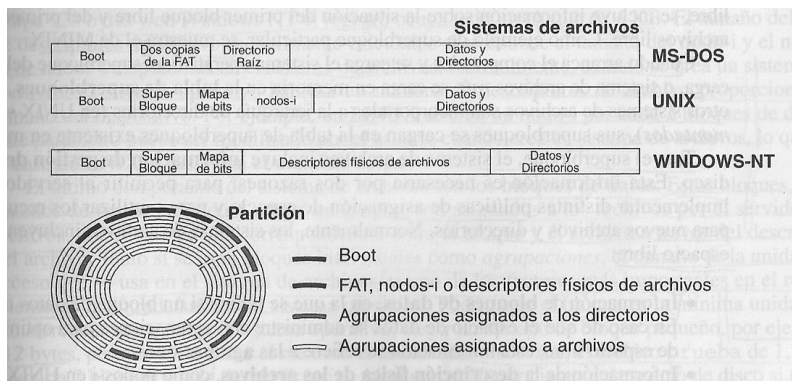
- El **tamaño de bloque** es un parámetro decisivo que afecta a la eficiencia del acceso a disco y a la fragmentación del mismo.
 - Tamaño de bloque **pequeño**: Mayor número de operaciones de Entrada/Salida (E/S) para acceder al archivo. Menor fragmentación.
 - Tamaño de bloque **grande**: Menor número de operaciones E/S para acceder al archivo. Mayor fragmentación.
- Puedes ver el tamaño de bloque con `stat -f .`

Efecto del tamaño de bloque

Del estudio [The impact of blocksize on Persistent Disk performance](#).



Estructura del Sistema de Archivos



Sistema de Archivos: *boot*

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.
- 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.

<https://whereismydata.wordpress.com/2008/08/23/file-systems-mbr-and-volume-boot-record-basic/>

Sistema de Archivos: metainformación

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.

Sistema de Archivos: superbloque

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.

Información de discos, particiones y superbloques

- Listado discos y particiones: `sudo fdisk -l` y `gparted`
- Información superbloque:

```
sudo dumpe2fs /dev/nvme0n1p3|less
sudo dumpe2fs /dev/nvme0n1p3|grep -i super
```

¿por qué está copiado varias veces el superbloque a lo largo del disco?

Ejemplo superbloque

```

Filesystem volume name:   UBUNTU
Last mounted on:         /
Filesystem UUID:         eca06da0-02e9-4c2b-9fe0-1fd03743502c
Filesystem magic number: 0xEF53
Filesystem revision #:    1 (dynamic)
Filesystem features:      has_journal ext_attr resize_inode dir_index filetype needs_recovery c
Filesystem flags:         signed_directory_hash
Default mount options:    user_xattr acl
Filesystem state:         clean
Errors behavior:          Continue
Filesystem OS type:       Linux
Inode count:              5120000
Block count:              20480000
Reserved block count:     1024000
Free blocks:              4982222
Free inodes:              4358040
First block:              0
Block size:               4096
Fragment size:            4096

```

Sistema de Archivos: descriptores

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...

Sistema de Archivos: descriptores

Información inodos fichero:

```
$ ls -li /etc/passwd
24352 /etc/passwd
$ stat /etc/passwd
  Fichero: /etc/passwd
  Tamaño: 3042          Bloques: 8          Bloque E/S: 4096    fichero regular
Dispositivo: 10303h/66307d  Nodo-i: 24352          Enlaces: 1
Acceso: (0644/-rw-r--r--)  Uid: (    0/    root)  Gid: (    0/    root)
Acceso: 2023-04-10 11:25:47.835159901 +0200
Modificación: 2023-03-27 17:39:11.826105357 +0200
  Cambio: 2023-03-27 17:39:11.826105357 +0200
  Creación: -
```

Gestión del espacio libre

Gestión del espacio libre: distintos mecanismos permiten gestionar el espacio libre. Veremos más al final del tema.

- 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.

```
sudo dumpe2fs /dev/nvme0n1p3|less
```

4 Servidor de archivos

Servidor de Archivos

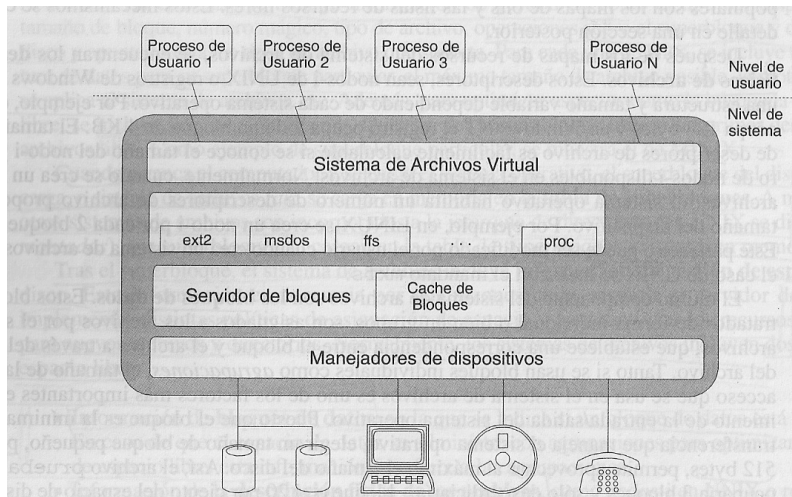
Servidor de Archivos: es el componente del SO que se encargará de gestionar el acceso a archivos.

- 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).

Esquema Servidor de Archivos



Sistema de archivos virtual (I/II)

1. **Sistema de archivos virtual** (*Virtual File System*):
 - 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).

Sistema de archivos virtual (II/II)

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.

Módulo de organización 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 bloques

3. Servidor de bloques:

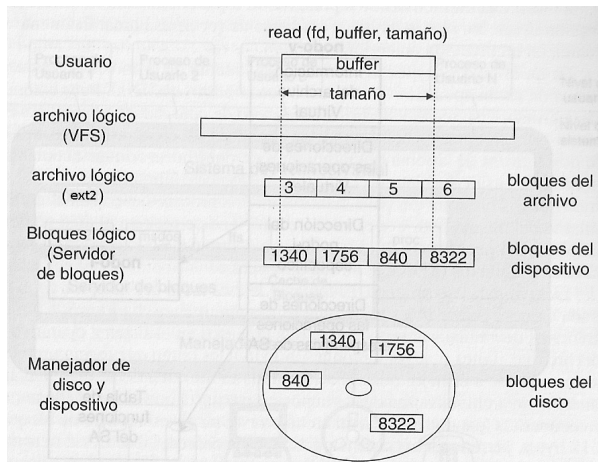
- Este nivel emite los mandatos genéricos para leer y escribir bloques en los manejadores de dispositivo (E/S de bloques).
- Se traducirán en llamadas al manejador específico del SA.
- En este nivel se realiza la caché de bloques.

Manejador de dispositivos

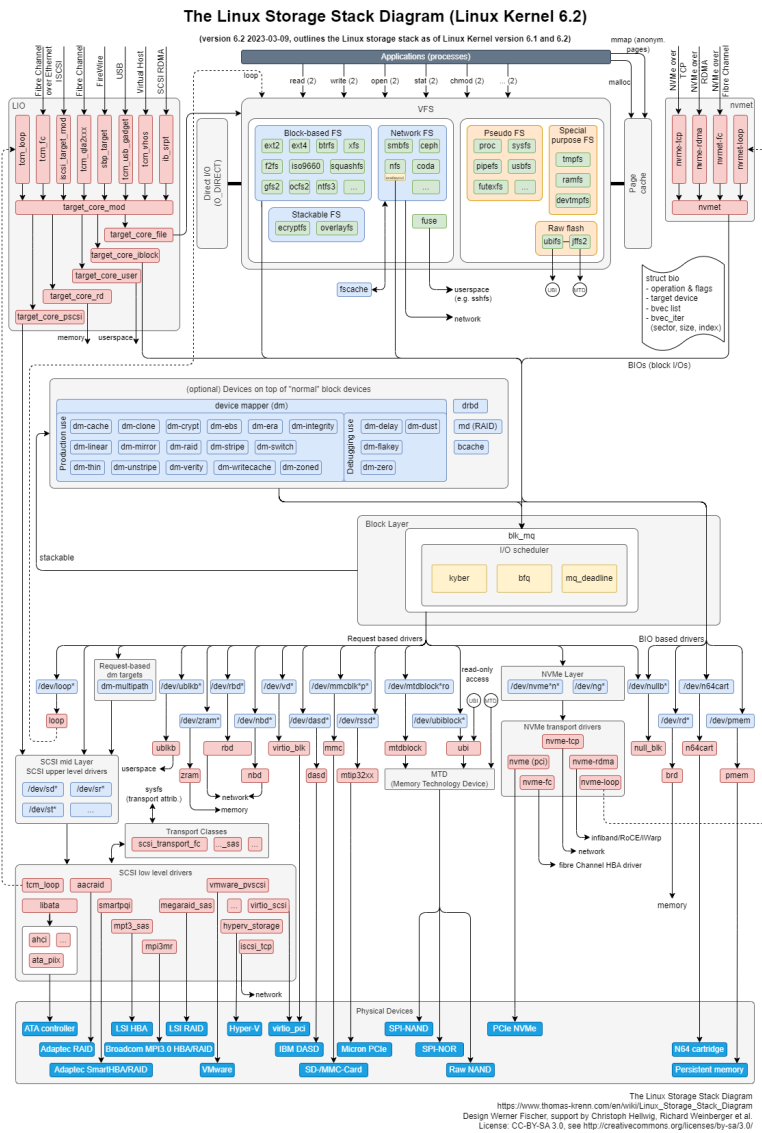
4. Manejadores de dispositivos:

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

Funcionamiento esquemático servidor archivos



Linux Storage Stack Diagram



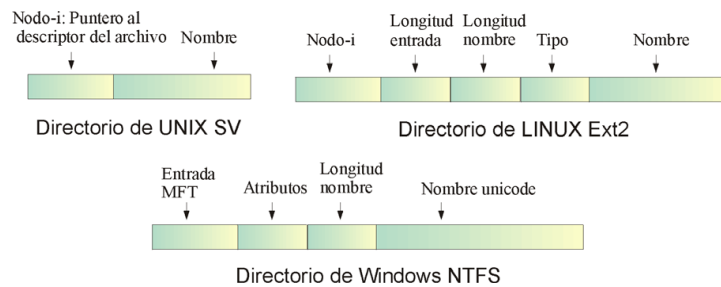
Linux Storage Stack Diagram (PDF)

Fuente [thomas-krenn](#)

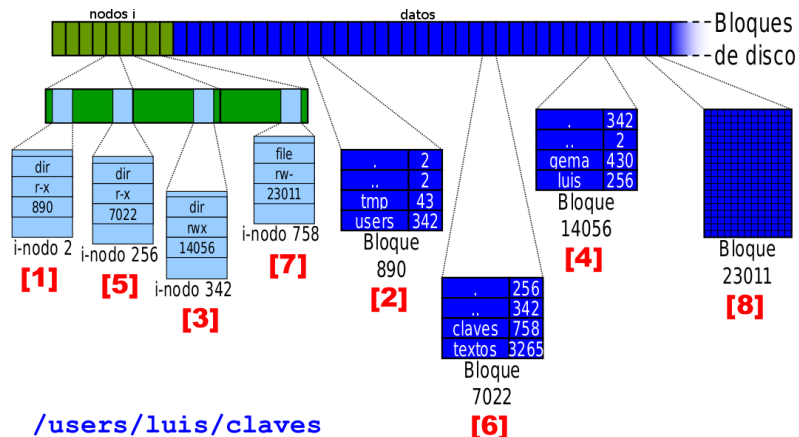
5 Directorios y enlaces

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.



Directorios: resolución nombre



Directorios: resolución nombre

- La ruta `/users/luis/claves` se interpreta de forma recursiva:

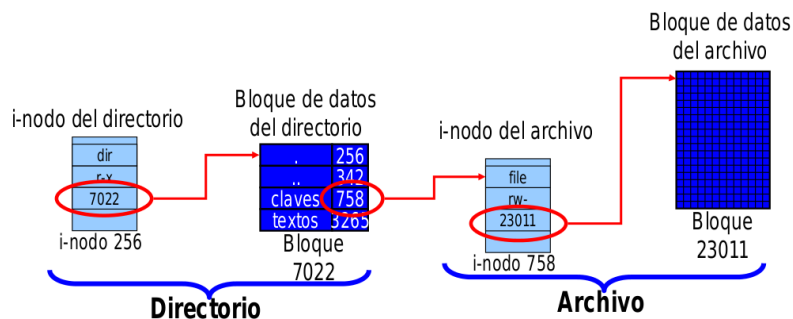
1. Traer a memoria bloque del i-nodo 2 (i-nodo raíz, conocido).
2. Se busca dentro `users` y se obtiene el i-nodo 342.
3. Traer a memoria bloque del i-nodo 342.
4. Se busca dentro `luis` y se obtiene el i-nodo 256.
5. Traer a memoria bloque del i-nodo 256.
6. Se busca dentro `claves` y se obtiene el i-nodo 758.
7. Al leer el i-nodo 758, se detecta que es un fichero y accede a los datos del archivo.
8. Leer los bloques del fichero.

Directorios: ¿Cuándo parar?

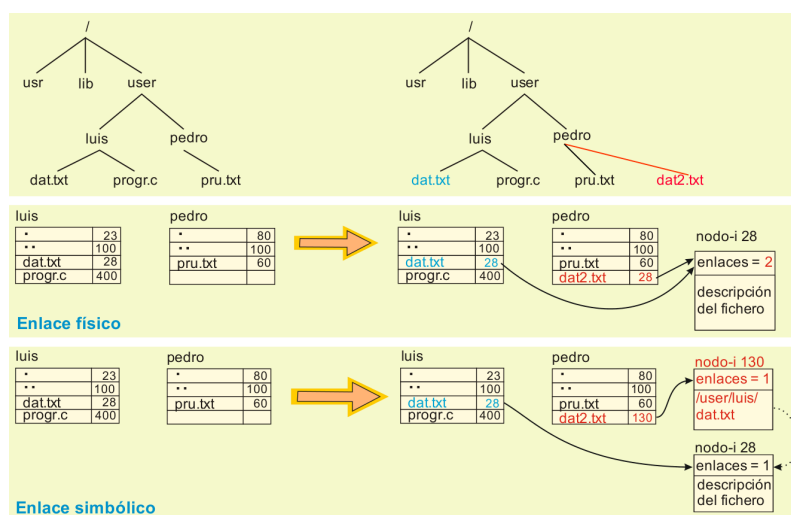
- ¿Cuándo parar?
 - No se tienen permisos.
 - Se ha encontrado el i-nodo del archivo.
 - No se encuentra el siguiente elemento de la ruta.

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



6 Asignación de bloques

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 salvo en el caso particular de discos ópticos.

Mecanismos de asignación

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).

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. ✗

Tabla de asignación de archivos (FAT)

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 agrupación** (*clusters*) de bloques del SA (¡de otro modo la FAT ocuparía mucho espacio!).
- La FAT ocupará un espacio prefijado en la partición.
- Descriptor fichero → incluye su primera posición en la tabla.
- Acceso aleatorio al archivo: recorriendo la tabla y accediendo a los grupos de bloques hasta llegar al final del fichero ([Technical details of FAT, Wikipedia](#)).
- La tabla se aloja en caché para mejorar las prestaciones y se mantiene una copia doble en el disco para mayor fiabilidad.

Tabla de asignación de archivos (FAT)

FAT

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

archivo A: [6] → [8] → [4] → [2]

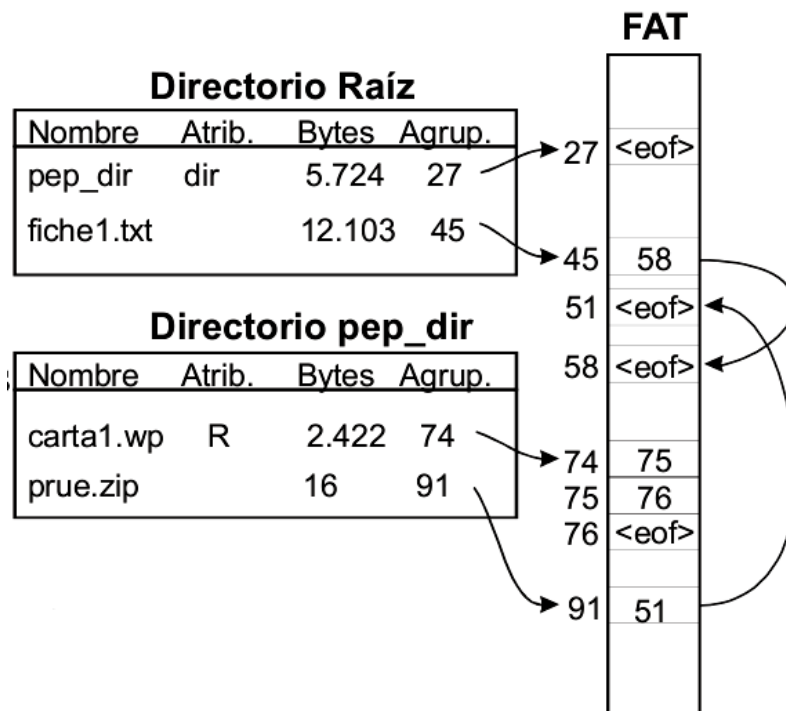
archivo B: [5] → [9] → [12]

archivo C: [10] → [3] → [13]

Tabla de asignación de archivos (FAT)

- 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 32 bits. Tamaño máximo $2^{32} - 1 = 4GB - 1$

Más información [File System Functionality Comparison](#)



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. ✗

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. ✗

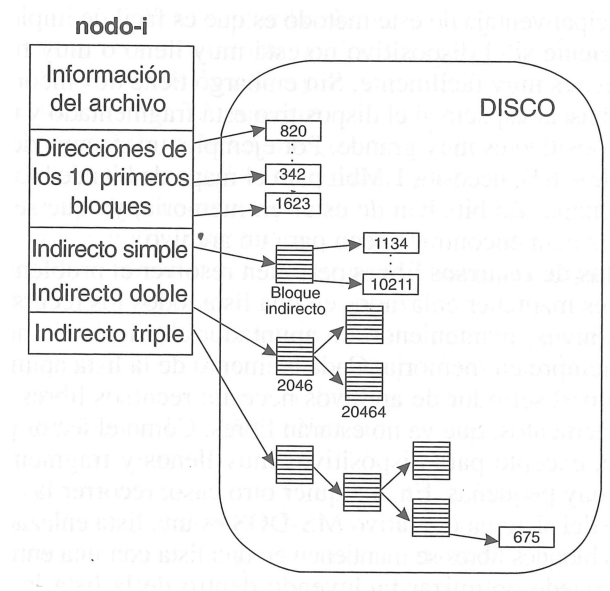
Esquema híbrido: nodos-i

Solución UNIX → Esquema híbrido

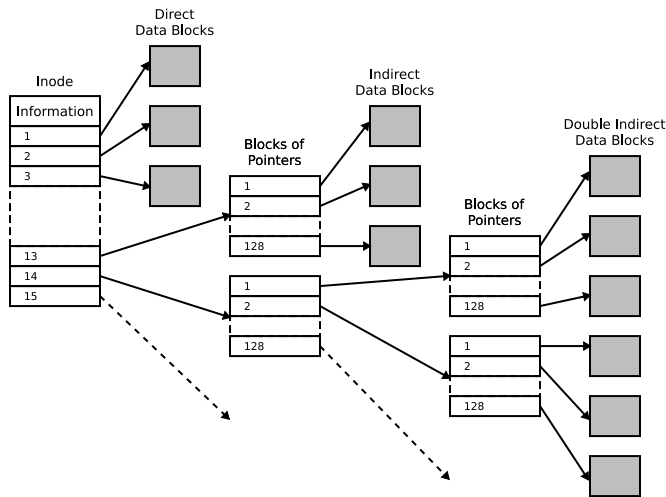
- Por cada nodo-i incluir 15 punteros:
 - Punteros directos a los 12 primeros bloques (para archivos pequeños). Nota: la siguiente figura indica 10 erróneamente.
 - Puntero a un bloque índice de primer nivel (donde encontraremos punteros a bloques).
 - Puntero a un bloque índice de segundo nivel (donde 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



Asignación de bloques: indexado multinivel Ext2



7 Gestión del espacio libre

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.

Más detalles y técnicas concretas en [Free space management in Operating System](#)

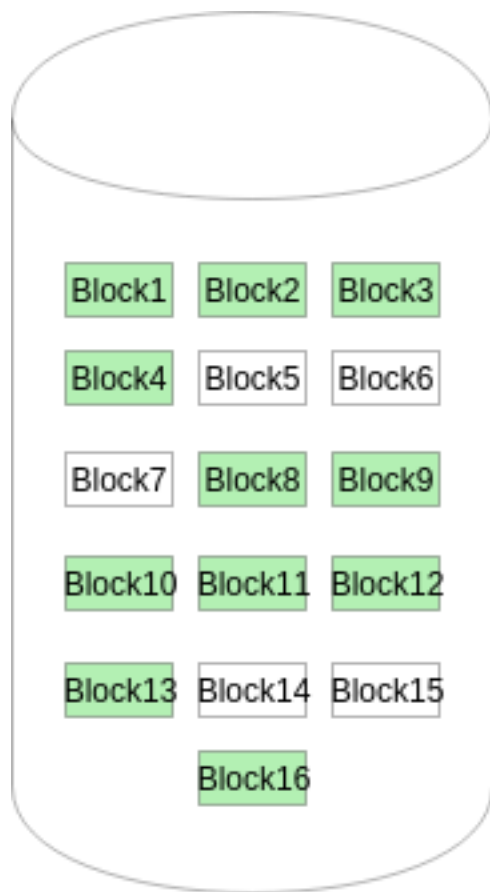


Figure - 1

free list head

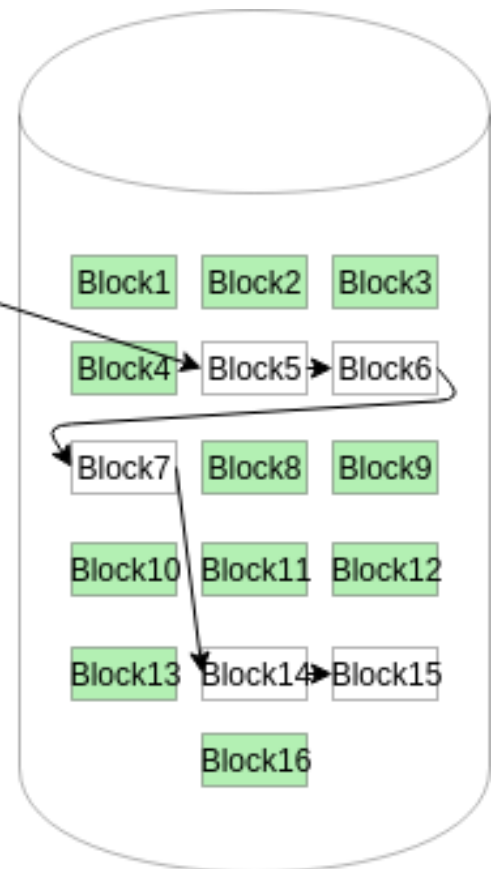


Figure - 2

Gestión del espacio libre: 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. ✓
 - Si disco poco fragmentado → bloques libres al final, búsqueda muy eficiente. ✓
 - Si disco fragmentado → búsqueda más costosa. ✗
 - Espacio adicional requerido por el mapa. ✓

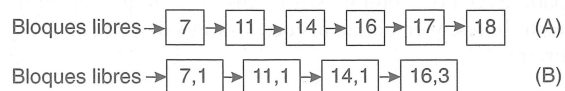
- **FAT**: la propia tabla actúa como mapa de recursos.
- **exFAT**: sistema híbrido donde los archivos se localizan con la lista enlazada pero además existe un mapa de bits para gestionar el espacio libre.

Gestión del espacio libre: Listas

- 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 (siguiente imagen). ✓

Gestión del espacio libre: FAT + lista enlazada

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



8 Incremento de prestaciones

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 {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.

Caché de bloques (I)

- 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.

Caché de bloques (II)

- 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**).

9 Referencias

Referencias

Evi Nemeth, Garth Snyder, Trent R. Hein, Ben Whaley y Dan Mackin. Unix and Linux system administration handbook. Capítulo 20. *Storage*. Addison-Wesley. 5th Edition. 2018.

Geeks for geeks. [File Allocation Methods](#). 2023.

Geeks for geeks. [Free space management in Operating System](#). 2023.

Jacob Schrum. [File Systems 2: File Allocation \(VIDEO\)](#). 2016.

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.