

# **Tema 7: Administración de sistemas de ficheros**

**Programación y Administración de Sistemas (2022-2023)**

Javier Sánchez Monedero

18 de abril de 2023

## **Tabla de contenidos**

<b>1</b>	<b>Objetivos y evaluación</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introducción</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>I just want to add a disk!</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Montaje y desmontaje de sistemas de ficheros</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Comprobación del sistema de ficheros</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Sistema de journaling</b>	<b>10</b>
<b>7</b>	<b>Creación de sistemas de ficheros</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Cuotas</b>	<b>14</b>
<b>9</b>	<b>Administración de volúmenes dinámicos</b>	<b>16</b>
<b>10</b>	<b>Referencias</b>	<b>20</b>

## **1 Objetivos y evaluación**

### **Objetivos**

- Explicar la importancia de la **administración del sistema de ficheros** en la labor de administración de sistemas informáticos.

- Explicar qué sucede en el sistema operativo cuando se **montan y desmontan dispositivos** en el sistema de ficheros.
- Utilizar la herramienta **mount** (y **umount**) para montar (y desmontar) sistemas de ficheros.
- **Configurar** los dispositivos de almacenamiento principales del sistema mediante el fichero **/etc/fstab**.
- Explicar la necesidad del **chequeo** del sistema de ficheros y utilizar las principales herramientas de chequeo.
- Explicar cómo funciona el sistema de *journaling*.
- Enumerar los pasos necesarios para añadir un **nuevo dispositivo** de disco al sistema operativo.
- Explicar las diferencias fundamentales entre los sistemas de ficheros **ext2**, **ext3** y **ext4**.
- Justificar la necesidad del uso de **cuotas** de disco en sistemas informáticos compartidos.
- Configurar cuotas de disco para los distintos usuarios de un sistema GNU/Linux.
- Justificar la necesidad del uso de **arrays redundantes de discos (RAID)** en sistemas informáticos.
- Elegir el mecanismo RAID más adecuado: RAID0, RAID1 o RAID4/5.
- Ejemplificar el mecanismo de redundancia para RAID basado en paridad.
- Montar un sistema RAID por *software* en GNU/Linux.

## Evaluación

- Cuestionarios objetivos.
- Pruebas de respuesta libre.
- Tareas de administración.
- **NOTA:** Como en otros temas, aquí veremos muchos parámetros de configuración que no tiene sentido memorizar, pero si hay que saber qué posibilidades tenemos en la administración de sistemas de ficheros.

## 2 Introducción

### Introducción

Tareas asociadas al sistema de ficheros en GNU/Linux:

- Permitir el acceso a ficheros locales y remotos.
- Controlar los recursos que proporcionan: cuotas de disco, bloques o nodos-i libres, estadísticas de uso...
- Proteger de posibles fallos o errores: RAID, copias de seguridad...
- Controlar y proporcionar seguridad de los datos: propietarios, permisos...
- Durante el arranque: chequear (y corregir) el sistema de ficheros.
- Instalar y configurar nuevos dispositivos de almacenamiento.

## 3 I just want to add a disk!

### I just want to add a disk!

- Antes de saltar a la teoría vamos a hacer algo habitual: añadir un disco duro al sistema utilizando todo su espacio de forma corriente.
- Más adelante entenderemos lo que estamos haciendo, podremos definir varias particiones, configuraremos RAID, cuotas, etc.

### Receta disco (I)

1. Apagar el ordenador, conectar el disco y encender.
2. Usamos `lsblk` para identificar dispositivos de bloques y particiones. Ej. `/dev/sdb`.
3. Particionar el disco (`parted`, `gparted`, `fdisk`...): `sudo fdisk /dev/sdb`:

```
pas@debianpas:~$ sudo fdisk /dev/sdb
[sudo] password for pas:

Welcome to fdisk (util-linux 2.36.1).
Changes will remain in memory only, until you decide to write them.
Be careful before using the write command.
```

```
Device does not contain a recognized partition table.
Created a new DOS disklabel with disk identifier 0x11e147da.

Command (m for help): g
Created a new GPT disklabel (GUID: 01C5F77B-F13F-6348-B35F-2BD08E33989A).

Command (m for help): n
Partition number (1-128, default 1): 1
First sector (2048-204766, default 2048):
Last sector, +/-sectors or +/-size{K,M,G,T,P} (2048-204766, default 204766):

Created a new partition 1 of type 'Linux filesystem' and of size 99 MiB.

Command (m for help): w
The partition table has been altered.
Calling ioctl() to re-read partition table.
Syncing disks.
```

## Receta disco (II)

4. Nuestra nueva partición estará en `/dev/sdb1`
5. Crear el sistema de ficheros: `sudo mkfs -t ext4 -L etiqueta /dev/sdb1`
6. Crear un punto de montaje y montar (3 alternativas de identificación del dispositivo, el UUID lo podemos obtener de `lsblk -f`):

```
sudo mkdir /etiqueta
sudo mount LABEL=etiqueta /etiqueta
sudo mount /dev/sdb1 /etiqueta
sudo mount a24457f7-5a17-4da0-a25b-c9f3f678780f /etiqueta
```

7. ¡Listo!

## Receta disco (III)

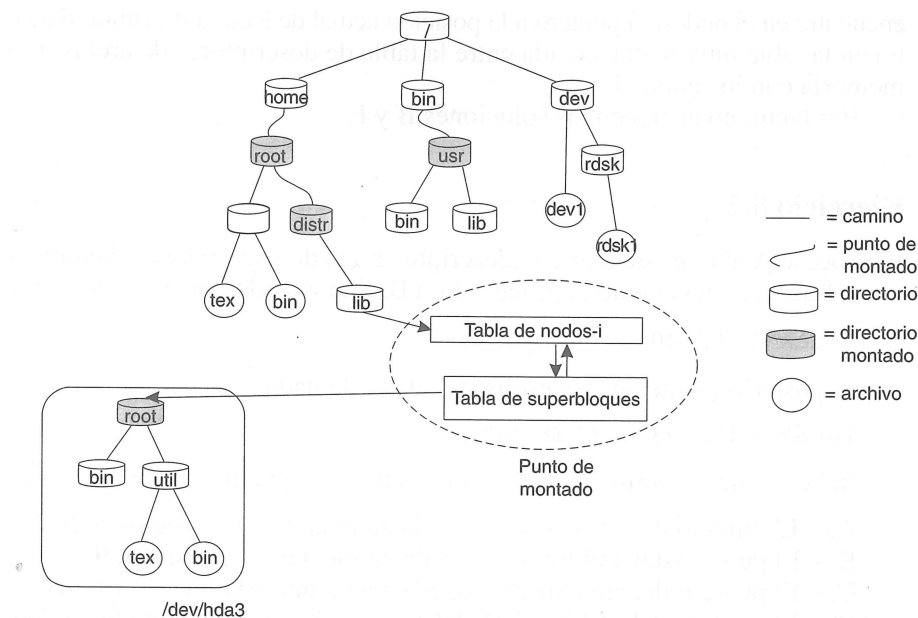
- ¿Puedes escribir con tu usuario normal?
- Si reinicias, ¿sigue ahí?
- ¿puedes montarlo sobre cualquier carpeta?

## 4 Montaje y desmontaje de sistemas de ficheros

### Concepto montar/desmontar

- En GNU/Linux, hay un único **sistema de ficheros lógico** (o una única “jerarquía de directorios”), en la que se organizan todos los dispositivos de almacenamiento disponibles.
- Cada partición tiene su propio sistema de ficheros, con su directorio raíz y su jerarquía.
  - **Montar un sistema de ficheros:** añadirlo al sistema de ficheros lógico. Sus datos (desde su propia raíz) están disponibles a partir de un punto de montaje (p.ej. `/media/usb1`).
  - **Desmontar un sistema de ficheros:** el sistema de ficheros deja de estar disponible, dejándolo además consistente.
- Los ficheros principales del SO están siempre disponibles desde la raíz del sistema de ficheros lógico (`/`).
- En el arranque, se monta primero la partición correspondiente a dicha raíz (**root**) y luego cualquier partición auxiliar.

### Concepto montar/desmontar



## Herramienta mount

- `mount [opci] <FicheroEspecialBloque> <PtoMontaje>`
  - `-t tipo-sf` → tipo de sistema de ficheros.
  - `-r` → montaje en modo sólo lectura.
  - `-w` → montaje en modo lectura/escritura.
  - `-o opcionesMontaje` → opciones del proceso de montaje (`nosuid`, `exec`, `remount`, etc.).
- `umount <PtoMontaje>` (ó `<FicheroEspecialBloque>`) → desmontar un sistema de ficheros. Si está siendo utilizado (`busy`), no se podrá desmontar.

## Monitorización con fuser y lsof

- `fuser` → saber qué ficheros se están usando y qué procesos los usan (`f`: fichero abierto para lectura, `F`: fichero abierto para escritura, `c`: directorio de trabajo, `e`: ejecutando el fichero, `m`: memoria compartida, etc.)
- `lsof` → obtener un listado de todos los ficheros abiertos. Se puede filtrar por procesos, usuarios, directorios, etc.

### fuser y lsof

```
$ fuser -mv /home # -m: ficheros montados; -v: verbose
                USUARIO      PID ACCESO ORDEN
/home:          root         kernel mount /home
                javi         1152 F...m pulseaudio
                javi         1158 F.c.m mate-session
...
                javi         38094 f.c.. code
                javi         38152 ..c.. code
                javi         38153 ..c.. code
                javi         38154 F.c.m code
                javi         38198 F.c.. code
                javi         38248 F.c.. java
...
```

```
$ lsof # tardará en ejecutarse unos segundos
$ lsof -c code|wc -l
2252
```

## Fichero /etc/fstab

- /etc/fstab: fichero con información sobre todos los sistemas de ficheros a montar (o ya montados) y las zonas de intercambio a activar.

`fi_especial pto tipo opciones dump_freq pass_num`

- `fi_especial` → fichero especial de bloques (`/dev/...`).
- `pto` → directorio que sirve de punto de montaje (*¿permisos?*).
- `tipo` → tipo de SF (`ext2`, `ext3`, `ext4`, `vfat`, `iso9660`, `swap`, `ntfs`, `nfs`, etc.).
- Opciones para el proceso de montaje (separadas por “,” y sin espacios).
- `dump_freq` → “frecuencia del *dump*” para hacer una copia de seguridad de ese SF mediante el comando `dump` (no se usa).
- `pass_num` → en tiempo de arranque, en qué orden hay que chequear los SFs (ejecutar `fsck` para comprobar su estado).

## Opciones de fstab

- Opciones del fichero /etc/fstab:
  - `defaults` → `rw`, `suid`, `dev`, `exec`, `auto`, `nouser`, `async`.
  - `rw` → Lectura-escritura (por defecto).
  - `ro` → Sólo lectura
  - `suid/nosuid` → Permitido (o no) que los bits `suid` o `sgid` tengan efecto.
  - `auto/noauto` → Montar automáticamente (o no) (ejecutando `mount -a` se montan todos los automáticos → siempre se ejecuta al arrancar el sistema).
  - `exec/noexec` → Permitir (o no) la ejecución de ficheros.
  - `usrquota`, `grpquota` → Activar cuotas.
  - `uid=500`, `gid=100` → Propietario y grupo propietario de los ficheros del SF (si el SF no incorpora esta información o si se quiere cambiar).

- `umask=137` → Permisos de los ficheros (en este caso, 640) (si el SF no incorpora esta información o si se quieren cambiar).
- `dev` → Interpretar ficheros especiales en el sistema de archivos.
- `sync` → Forzar a que todas las operaciones sean síncronas (puede disminuir el tiempo de vida de la unidad de disco).
- `user` → permite que los usuarios puedan montar el sistema de ficheros. Solo el mismo usuario podrá desmontarlo. Implica las opciones `noexec`, `nosuid` y `nodev`.
- `users` → igual que `user` pero cualquiera podrá desmontarlo.
- `nouser` → Solo `root` puede montar el SF.
- `owner` → permite que un usuario pueda montar el sistema de ficheros, siempre que sea dueño del fichero de dispositivo. Implica las opciones `nosuid` y `nodev`.

## Fichero `/etc/fstab`

Ejemplo de contenido del fichero `/etc/fstab`:

```

LABEL=/      /              ext4      defaults,usrquota 0 1
/dev/sda3    /windows      vfat      defaults          0 0
/dev/dvd     /media/dvd    iso9660   noauto,owner,ro   0 0
/dev/fd0     /media/floppy vfat      noauto,uid=500    0 0
/dev/sda4    /otrolinux    ext3      defaults          0 2
/dev/sda2    swap          swap      defaults          0 0

```

- Al ejecutar `mount` como `root`:
  - `mount /media/dvd`: coge las opciones que faltan del fichero.
  - `mount -t iso9660 -r /dev/dvd /media/dvd`: no las coge.
- Si se asigna permisos de montaje a los usuarios (opciones `user`, `users` u `owner`), sólo pueden ejecutar `mount /media/dvd` (sin opciones).
- `mount -a`: montar todas las unidades que sean `auto`.
- Automontado de unidades: `udev` y `dbus`.



## Nombres efímeros y UUID

- Las referencias tipo `/dev/sda3` tienen el problema de que no son robustas.
- Si se añade un disco nuevo, o incluso a veces al reiniciar, `/dev/sda` puede pasar a ser `/dev/sdb`.
- Por esto es más robusto utilizar identificadores únicos UUID y permanentes para particiones.

```
# Ejemplo de líneas de fstab usando UUID
# / was on /dev/nvme0n1p3 during installation
UUID=eca06da0-02e9-4c2b-9fe0-1fd03743502c /          ext4      errors=remount-ro 0
```

- Puedes ver varias alternativas para identificar discos y particiones en `/dev/disk/`.

## 5 Comprobación del sistema de ficheros

### Concepto y herramientas de chequeo

- Durante el arranque, `fsck` o `e2fsck` chequearán la consistencia o estado del sistema de ficheros, detectando problemas e intentando repararlos.
- Se actúa sobre la estructura (no sobre el contenido):
  - **Bloques** que pertenezcan a varios ficheros.
  - **Bloques** que están marcados como libres, pero que se encuentran en uso.
  - **Bloques** que se encuentran marcados como en uso, pero que están libres.
  - Inconsistencias en cuanto al número de enlaces hacia un **nodo-i**.
  - **Nodos-i** marcados como libres, pero que están en uso.
  - **Nodos-i** marcados como en uso, pero que están libres.

## Comprobación del sistema de ficheros

- Para chequear un SF siempre debe estar desmontado o montado en modo de sólo lectura.
- El SF raíz debe estar montado en modo de sólo lectura (el SF raíz no se puede desmontar, ¿por qué?).

...

- Si al arrancar el proceso de chequeo encuentra problemas que no puede solucionar, obliga al administrador a que realice el chequeo “a mano” ejecutando la orden **fsck** o **e2fsck** (modo monousuario).

## 6 Sistema de journaling

### Journaling

- *Journaling*: para evitar la verificación completa (con **fsck**) de sistemas de ficheros de gran tamaño, que sería muy costosa, se implementa un modelo de control **transaccional** basado en *logging* (un diario).
  - Las suboperaciones que modifiquen los metadatos y datos de un mismo archivo se agrupan en la misma transacción.
  - Si el sistema falla, las acciones parcialmente realizadas se deshacen o completan, recorriendo el *log*.
  - No se garantiza que el sistema esté actualizado al finalizar la recuperación, sino que es consistente.
- Sistemas con esta filosofía: JFS (IBM), NTFS, **ext3/4** y la gran mayoría de sistemas de archivos modernos.

### Journaling

```
TxBegin(&tid);  
/* ...  
    Sub-operaciones  
    ... */  
TxCommit(tid);  
TxEnd(tid);
```

- Por cada sub-operación que altera las estructuras de disco se escribe un registro en el *log*, que incluye las modificaciones en los *buffers* de i-nodos y de bloques.
- Cuando se ha copiado a disco (*log*) el registro de *commit*, se empiezan a procesar realmente los *buffers*.
- Después de una caída:
  - Se completan las transacciones *committed*.
  - Se descartan el resto de transacciones.

## Obtener información de nuestro sistema de ficheros

1. Listado de discos y particiones: `sudo fdisk -l`
2. Listado de puntos de montaje: `mount`
3. Información sobre parámetros del sistema de ficheros:

```
sudo tune2fs -l /dev/sda2
```

4. Comprobar última comprobación y veces que se ha montado.

```
$ sudo tune2fs -l /dev/sda2 | grep Last\ c
Last checked:          Fri Mar  5 11:59:50 2021

$ sudo tune2fs -l /dev/sda2 | grep Mount
Mount count:          303
```

5. Intenta usar `fsck` con cada una de las particiones.
6. ¿Cómo podrías comprobar la partición raíz del sistema?

## Obtener información del journal (curiosidad)

7. Información sobre soporte journal en el sistema de ficheros:

```
sudo dumpe2fs /dev/sda2 | grep -i journal
```

8. Herramientas de depuración de sistemas de ficheros:

1. `sudo apt install sleuthkit`
2. `sudo debugfs -R 'logdump -S' /dev/sdb1`

## 7 Creación de sistemas de ficheros

### Pasos necesarios

Añadir un nuevo disco o SF:

1. Realizar la conexión física. Crear un fichero especial de dispositivo (si es necesario).
2. Consultar ficheros de bloques: `lsblk`
3. Crear las particiones: `fdisk` (o `parted`).
4. Crear sistema de ficheros: `mke2fs -t ext2 /dev/sdb3`
5. Etiquetar la partición usando `e2label` → asigna una etiqueta al SF que se puede usar en el fichero `/etc/fstab`, en el campo `fi_especial`, mediante `LABEL=etiqueta`.
6. Crear el directorio que hará de punto de montaje.
7. Montar el nuevo sistema de ficheros.
8. Actualizar `/etc/fstab` con las opciones necesarias.

### Diferencias entre ext2, ext3 y ext4

- Diferencias `ext2`, `ext3` y `ext4`:
  - `ext3` tiene el mismo formato que `ext2` pero además es transaccional: añade un registro o *journal* que permite recuperar la consistencia tras una caída del sistema.
  - `ext4` tiene un formato similar a `ext3`, pero además incluye:
    - \* Una **extensión** describe un conjunto de bloques lógicos contiguos de un fichero que también se encuentran contiguos en disco: muy útil para ficheros grandes.
    - \* Se retrasa la reserva de bloques de disco hasta que se va a escribir en él: mayor número de bloques contiguos en disco.
    - \* Implementa una herramienta de desfragmentación *online*, `e4defrag` (capaz de funcionar mientras se usa el SF).
    - \* Manejo de sistemas de ficheros y ficheros de mayor tamaño.

## ¿Qué sistema elegir?

- **ext2** → muy rápido en general, pero no tiene *journaling*. Se puede usar en un SF en el que se guardarán ficheros temporales.
- **ext3** → buen rendimiento en general y *journaling*.
- **ext4** → menor uso del CPU y mayor rapidez en los procesos de lectura y escritura que ext3. Estándar de facto en Linux.

Hay muchas más opciones de [sistemas de ficheros modernos](#). Particularmente interesantes son ZFS and Btrfs.

## tune2fs

**tune2fs** → Conocer y ajustar parámetros de un SF **ext4/ext3/ext2**.

- **-l dispositivo**: Listar el contenido del superbloque del SF.
- **-c max-mount-counts dispositivo**: Establecer el nº de montajes máximo sin realizar un fsck.
- **-i numero[d|m|w] dispositivo**: Indicar el tiempo máximo entre dos chequeos.
- **-L etiqueta dispositivo**: Poner una etiqueta al sistema de ficheros.
- **-m porcentaje dispositivo**: Fijar el porcentaje de bloques reservados para procesos especiales (de root). Por defecto, 5%.

## Parámetros del SF ext4

```
$ sudo tune2fs -l /dev/sda2
tune2fs 1.45.5 (07-Jan-2020)
Filesystem volume name:   <none>
Last mounted on:         /
Filesystem UUID:          1ccdff3f-4fa5-4222-85b9-81f463ac9da1
Filesystem magic number:  0xEF53
Filesystem revision #:    1 (dynamic)
Filesystem features:      has_journal ext_attr resize_inode dir_index filetype needs_recovery
Filesystem flags:         signed_directory_hash
Default mount options:    user_xattr acl
Filesystem state:         clean
Errors behavior:          Continue
Filesystem OS type:       Linux
```

```
Inode count:          2433024
Block count:          9701161
...
```

## 8 Cuotas

### Concepto de cuotas de disco

Las **cuotas** de disco permiten limitar el número de bloques y/o ficheros (nodos-i) que un usuario puede usar en una partición (también se pueden establecer para grupos de usuarios).

- Hay dos tipos de límites:
  - **Límite *hard***: el usuario no puede sobrepasarlo. Si lo hace, ya no podrá usar más bloques o crear más ficheros.
  - **Límite *soft***: es inferior al límite *hard* y se puede sobrepasar durante cierto tiempo, siempre que no se alcance el límite *hard*.
- **Periodo de gracia**: tiempo durante el que se puede sobrepasar el límite *soft*. Se informa al usuario de que ha superado el límite y que debe liberar espacio o nodos-i (ficheros).
  - Los periodos y los límites se establecen, de forma independiente, para bloques y nodos-i.

### Establecer cuotas de disco (I)

Pasos a realizar para establecer las cuotas de disco:

1. Instalar el paquete `quota`:

```
apt-get install quota
```

2. Indicarlo en `fstab` (`ext4` con cuota integrada en el *journal* y en `ext3`):

```
/dev/sdb1 /home    ext4    defaults,usrjquota=aquota.user,grpjquota=aquota.group,jqfmt=vfsv
```

```
/dev/sdb1 /home    ext3    defaults,usrquota,grpquota 0 2
```

3. Remontar la partición para que se activen las opciones: `mount -o remount /home`.

## Establecer cuotas de disco (II)

4. `quotacheck -avugm`: añade el contenido de los ficheros de control de cuotas.
  - **a**: todos los dispositivos con cuotas.
  - **v**: *verbose*.
  - **u**: cuotas para usuarios.
  - **g**: cuotas para grupos.
  - **m**: no remontar los archivos en modo solo lectura.
5. Activar las cuotas: `quotaon -avug`.
6. Desactivarlas: `quotaoff -avug`.

## Establecer cuotas de disco (III)

7. Editar la cuota del usuario pagutierrez: `edquota pagutierrez`

Cuotas de disco para user pagutierrez (uid 1008):

Sist.	arch.	bloques	blando	duro	inodos	blando	duro
/dev/sdb1	39884712	130000000	140000000	507523	0	0	

8. Establecer el periodo de gracia: `edquota -t`

Período de gracia antes de imponer límites blandos para users:

La unidad de tiempo puede ser: días, horas, minutos, o segundos

Sist.	arch.	Periodo gracia bloque	Periodo gracia inodo
/dev/sdb1		7día	7día

9. Copiar cuotas: `edquota -up pagutierrez jsanchez`

## Establecer cuotas de disco (IV)

10. Estadísticas de las cuotas: `repquota /dev/sdb1`

\*\*\* Informe para user quotas en dispositivo /dev/sdb1

Periodo de gracia de bloque: 7días; periodo de gracia de inodo: 7días

Límites de bloque límites de archivo

Usuario	usado	blando	duro	usado	blando	duro
---------	-------	--------	------	-------	--------	------

-----

```

root      -- 10093264      0      0      199316      0      0
pagutierrez -- 39884712 130000000 140000000      507523      0      0
jsanchezm -- 31940744 130000000 140000000      864578      0      0

```

## 9 Administración de volúmenes dinámicos

### RAID y LVM

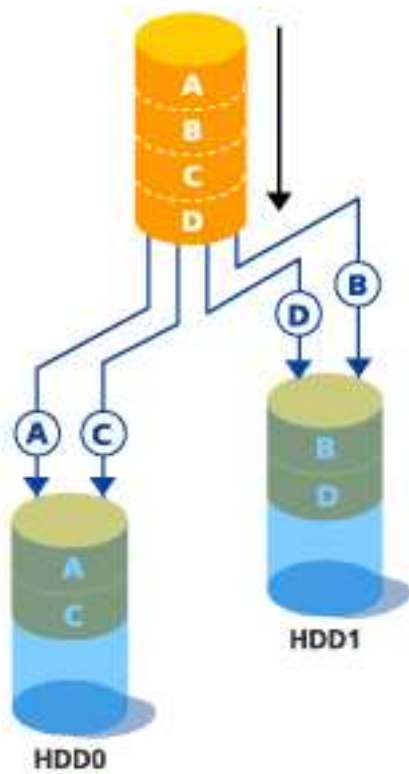
- **RAID:** Array redundante de discos independientes.
  - Varias unidades de disco se ven como una sola unidad lógica.
  - Se pueden implementar por *software* o por *hardware*.
- **LVM (*Logical Volume Management*)** : agrupar las particiones de uno o distintos discos en volúmenes. Permite redimensionar y mover particiones.

### RAID 0

RAID nivel 0:

- Expande la información en diversos discos, que se ven como un único SF.
- Aumenta el espacio según el número de discos usado.
- Se consigue E/S paralela en lecturas y escrituras, siempre que los bloques a tratar no sean del mismo disco.
- No hay redundancia de datos.



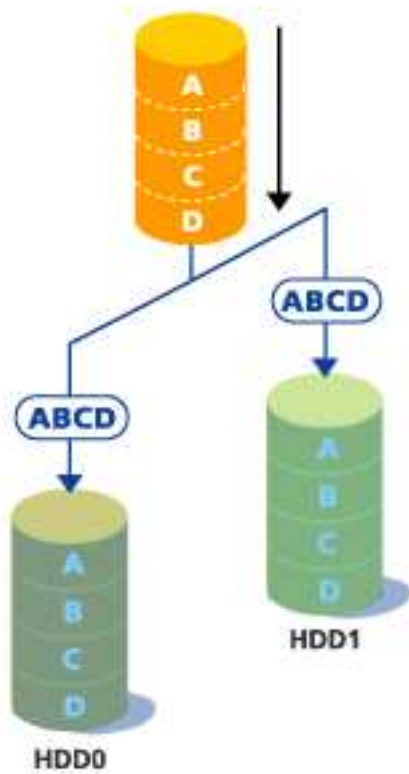


(C) Fujitsu

## RAID 1

RAID nivel 1:

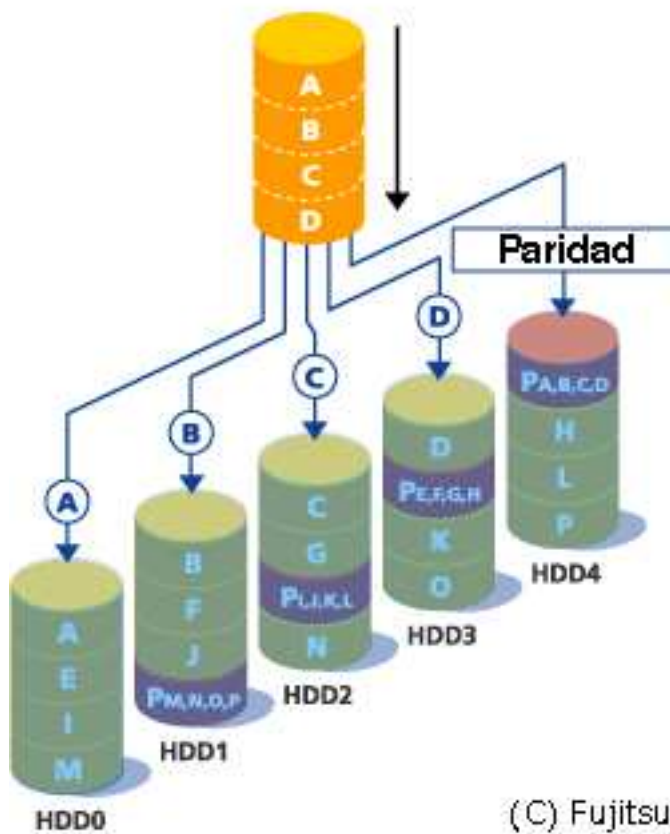
- Se utilizan dos o más discos duros, que forman un único SF (SF replicado en varios discos).
- Son discos espejos (todos guardan la misma información).
- **SI** hay redundancia de datos.
- Las lecturas pueden ser en paralelo, las escrituras no.
- Cuando uno de los discos falla, el sistema sigue trabajando con el otro sin problemas.
- La recuperación de un disco es transparente al usuario.



(C) Fujitsu

## RAID 4/5

- División de los datos a nivel de bloques.
- RAID 4: Mínimo 3 discos duros, de los cuales 1 almacenará la paridad de los otros discos, que son usados para datos.
- Problema: el disco con paridad es un cuello de botella. RAID 5: repartir paridad entre todos los discos.
- Se consigue un dispositivo de almacenamiento más grande.
- **SI** hay redundancia de datos.
- Lecturas y escrituras en **paralelo**.
- RAID 5 ofrece la mejor relación rendimiento-coste en un entorno con varias unidades.



### Paridad: cálculo

Paridad: cada vez que se escriben datos, se calcula el XOR bit a bit (1 número de unos impar, 0: número de unos par) de los bloques implicados en cada disco.

Basada en operaciones XOR:

Disco 1:	00101010	(Datos)
Disco 2:	10001110	(Datos)
Disco 3:	11110111	(Datos)
Disco 4:	10110101	(Datos)
Disco 5:	11100110	(Paridad)

## Paridad: recuperación

Paridad: Si uno de los discos falla (p.ej. el disco 4), el contenido se puede restaurar a partir de la paridad:

Disco 1:	00101010	(Datos)
Disco 2:	10001110	(Datos)
Disco 3:	11110111	(Datos)
Disco 5:	11100110	(Paridad)
Disco 4:	10110101	(Datos)

## 10 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.

Aeleen Frisch. Essential system administration. Capítulo 10. *Filesystems and disks*. O'Reilly and Associates. Tercera edición. 2002.

Ext4 Design. [https://ext4.wiki.kernel.org/index.php/Ext4\\_Design](https://ext4.wiki.kernel.org/index.php/Ext4_Design)