

Tema 5: Gestión de recursos del sistema

Programación y Administración de Sistemas (2022-2023)

Javier Sánchez Monedero

21 de marzo de 2023

Tabla de contenidos

| | | |
|---|-------------------------------|----|
| 1 | Objetivos y evaluación | 1 |
| 2 | Introducción | 3 |
| 3 | Actividad de la CPU | 4 |
| 4 | Programación y temporizadores | 20 |
| 5 | Rastreo de procesos | 22 |
| 6 | Memoria | 23 |
| 7 | Dispositivos Entrada/Salida | 25 |
| 8 | Referencias | 28 |

1 Objetivos y evaluación

Objetivos

- Conocer cuáles son los **recursos básicos** del sistema operativo (CPU, memoria y espacio en disco) y la necesidad e importancia de su **monitorización y gestión**.
- Definir los **procesos** en GNU/Linux y distinguir los **modos de ejecución** básicos (modo usuario y modo núcleo).
- Establecer los **tipos** de procesos que pueden ejecutarse en el sistema operativo.

- Utilizar la herramienta **ps** para ver los procesos en ejecución y sus atributos.
- Explicar el **ciclo de vida de un proceso** en GNU/Linux desde el punto de vista de su administración, detallando los distintos estados por los que puede pasar.
- Conocer el **mecanismo de planificación** utilizado en GNU/Linux para ejecutar los procesos.
- Utilizar el número *nice* para modificar la **prioridad** de los procesos.
- Enviar **señales** a procesos para controlar su ejecución y distinguir entre el efecto de las distintas señales.
- Monitorizar el tiempo de actividad de un sistema mediante la herramienta **uptime**.
- Monitorizar el árbol de ejecución de procesos de un sistema mediante la herramienta **pstree**.
- Monitorizar los procesos en ejecución de forma interactiva mediante la herramienta **top**.
- Obtener informes sobre la ejecución de procesos en un sistema mediante la herramienta **vmstat**.
- Conocer el contenido de la carpeta **/proc** y los ficheros que en ella aparecen para cada uno de los procesos en ejecución.
- Postergar la ejecución de procesos mediante el uso de la herramienta **at**.
- Planificar la ejecución periódica de procesos mediante la herramienta **cron**.
- Rastrear señales y llamadas al sistema de un determinado proceso mediante la herramienta **strace**.
- Monitorizar la cantidad de memoria libre mediante la herramienta **free**.
- Monitorizar el uso de memoria mediante **vmstat**.
- Decidir el espacio de paginación necesario para un sistema operativo.
- Controlar el espacio en disco mediante las herramientas **df** y **du**.
- Monitorizar el rendimiento de los discos mediante el uso de la herramienta **iostat**.

Evaluación

- Cuestionarios objetivos.
- Pruebas de respuesta libre.
- Tareas de administración.

2 Introducción

Tareas típicas

Empieza a ir lento un servicio, ¿qué puede pasar?

...

¿Cuántos recursos gasta nuestro servidor web según aumentan las peticiones?

...

¿cómo programo una tarea para que se ejecute repetidamente?

Introducción

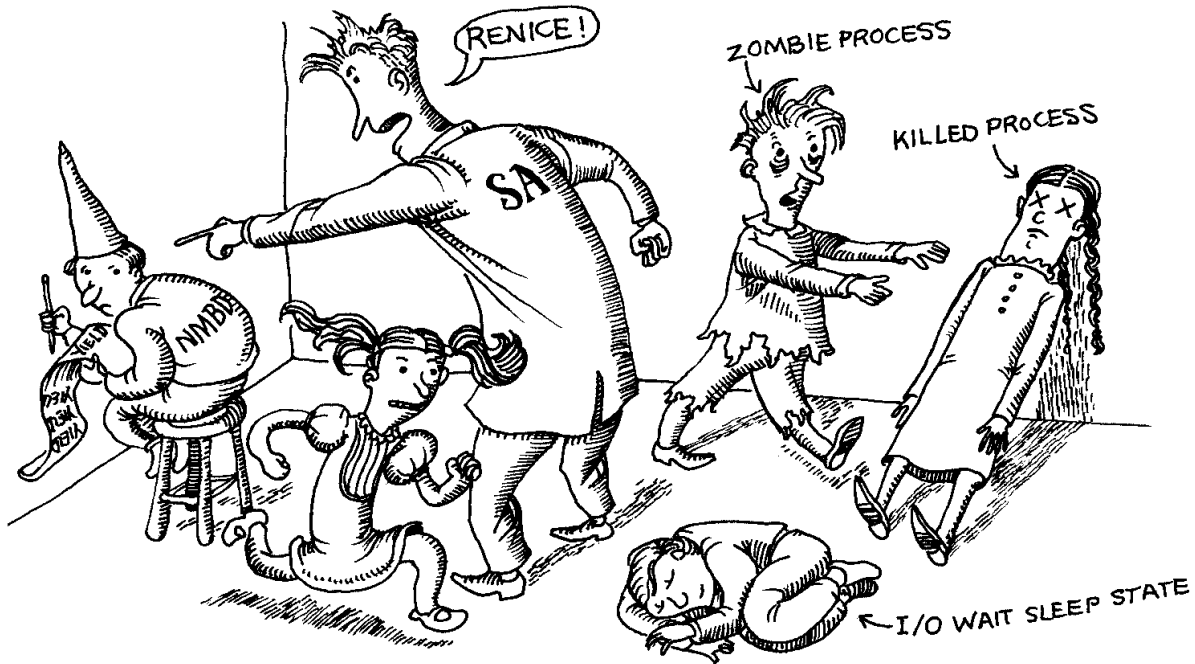
Una **correcta administración** del sistema implica obtener información sobre sus **recursos** y rendimiento:

- Procesos en ejecución,
- cantidad de memoria disponible,
- espacio en disco,
- nº de particiones,
- prioridad de procesos, etc.

para poder identificar y mitigar cuellos de botella, ataques, incidencias, etc.

3 Actividad de la CPU

Procesos en GNU/Linux



Fuente Nemeth et. al 2018

Procesos en GNU/Linux

- **Proceso:** representa un programa en ejecución (el SO crea el proceso cuando comienza la ejecución y lo elimina al finalizarla). Es una abstracción a través de la cuál la memoria, tiempo de procesador y recursos E/S pueden gestionarse y monitorizarse.
- Un sistema de tiempo compartido como GNU/Linux permite **múltiples usuarios** que ejecuten **múltiples procesos**, aunque la CPU solo puede **ejecutar un proceso a la vez** por núcleo.
- La CPU conmuta rápidamente de un proceso al siguiente, ejecutando un **cuanto** (por ejemplo, 100ms) de cada proceso.
- El SO es el encargado de decidir qué proceso se ejecuta en qué lugar → **planificación** de la CPU.

Información de CPU y núcleos: PC

En un PC:

```
$ lscpu | grep -E '^Hilo|^Núcleo|^socket|^CPU\('
CPU(s): 8
Hilo(s) de procesamiento por núcleo: 2
Núcleo(s) por «socket»: 4
CPU(s) del nodo NUMA 0: 0-7
$ grep -m 1 'cpu cores' /proc/cpuinfo
cpu cores : 4
$ nproc --all
8
```

Información de CPU y núcleos: servidor

En un servidor:

```
$ grep -m 1 'cpu cores' /proc/cpuinfo
cpu cores : 20
$ nproc --all
160
$ lscpu | grep -E '^Hilo|^Núcleo|^socket|^CPU\('
CPU(s): 160
Hilo(s) de procesamiento por núcleo: 2
Núcleo(s) por «socket»: 20
CPU(s) del nodo NUMA 0: 0-19,80-99
CPU(s) del nodo NUMA 1: 20-39,100-119
CPU(s) del nodo NUMA 2: 40-59,120-139
CPU(s) del nodo NUMA 3: 60-79,140-159
```

Procesos: modos de ejecución

Modos de ejecución (distinción para proteger mejor las direcciones de memoria a las que puede acceder un proceso)

- Modo **usuario**: se ejecuta **código normal** del programa.
- Modo **núcleo**: se ejecutan las funciones del **núcleo** (en realidad, es el *kernel* ejecutándose en nombre del proceso):

1. **Llamadas al sistema:** Los procesos de usuario solicitan servicios explícitamente a través de la interfaz de llamadas al sistema (p.ej. crear un hilo, abrir un fichero...).
2. **Excepciones:** Situaciones excepcionales (división por cero, errores de direccionamiento...) causan excepciones *hardware* que requieren intervención del *kernel*.
3. **Interrupciones:** Los dispositivos periféricos interrumpen para notificar al *kernel* de diversos sucesos (terminación de E/S, cambio de estado...).

Procesos: tipos de procesos (I/II)

Procesos de usuario

- Procesos creados por un usuario real.
- Se ejecutan en modo usuario, excepto en los casos anteriores.

Procesos demonio

- No asociados a un usuario, o asociados a uno ficticio.
- Se ejecutan en modo usuario, excepto en los casos anteriores.
- Realizan tareas periódicas relacionadas con la administración del sistema (gestión de la red, *crontab*...).

Procesos: tipos de procesos (II/II)

Procesos núcleo

- No asociados a un usuario.
- Corresponden al código del *kernel*.
- Se ejecutan siempre en modo núcleo.
- Tareas de administración más delicadas (planificación, intercambio de procesos, intercambio de páginas...).

Procesos: monitorizar con ps

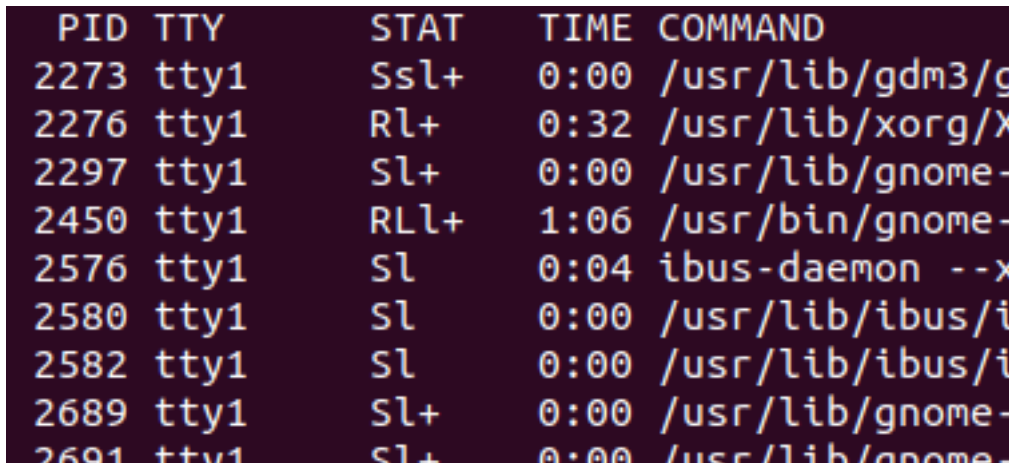
ps: información sobre los procesos en ejecución

- USER ⇒ usuario que lanzó el programa.
- PID ⇒ identificador del proceso.
- PPID ⇒ identificador del proceso padre (los nuevos procesos se crean clonándose con `fork`).
- %CPU ⇒ porcentaje de la CPU consumido por este proceso (en ese momento).
- %MEM ⇒ fracción de memoria consumida (es una estimación).
- VSZ ⇒ tamaño virtual (código+datos+pila) en KB.
- RSS ⇒ memoria real usada en KB (VSZ incluye a RSS).
- TTY ⇒ terminal asociado con el proceso.

Procesos: monitorizar con ps

ps: información sobre los procesos en ejecución

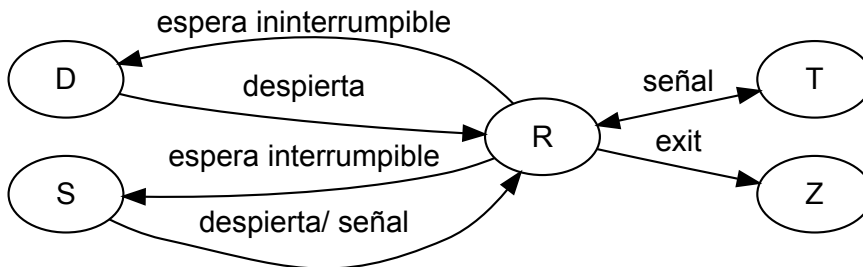
- STAT estado del proceso:
 - R: en ejecución
 - S: durmiendo
 - Z: proceso *zombie*
 - D: durmiendo ininterrumpible (E/S)
 - T: parado (señal o `trace`)



| PID | TTY | STAT | TIME | COMMAND |
|------|------|------|------|-----------------|
| 2273 | tty1 | Ssl+ | 0:00 | /usr/lib/gdm3/g |
| 2276 | tty1 | Rl+ | 0:32 | /usr/lib/xorg/X |
| 2297 | tty1 | Sl+ | 0:00 | /usr/lib/gnome- |
| 2450 | tty1 | RLl+ | 1:06 | /usr/bin/gnome- |
| 2576 | tty1 | Sl | 0:04 | ibus-daemon --x |
| 2580 | tty1 | Sl | 0:00 | /usr/lib/ibus/i |
| 2582 | tty1 | Sl | 0:00 | /usr/lib/ibus/i |
| 2689 | tty1 | Sl+ | 0:00 | /usr/lib/gnome- |
| 2691 | tty1 | Sl+ | 0:00 | /usr/lib/gnome- |

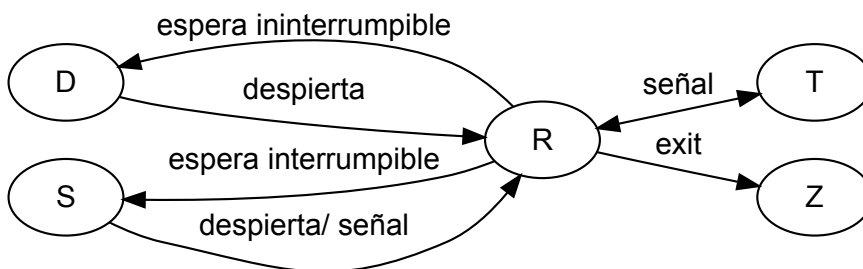
- **STAT banderas** adicionales:
 - <: prioridad más alta de lo normal (< 0), N: más baja de lo normal (> 0)
 - l: tiene *multithread*, +: proceso, *foreground*, s: líder de sesión
 - L: tiene páginas bloqueadas en memoria

Procesos: estados de los procesos



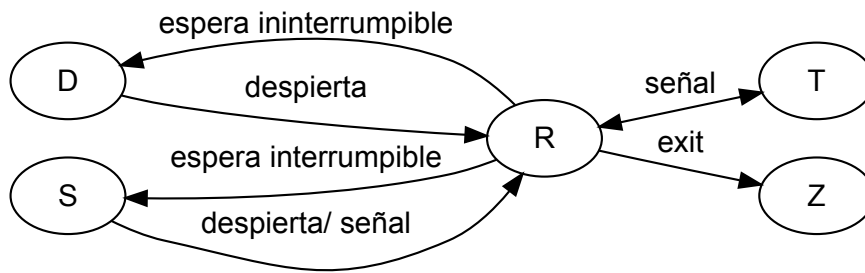
- **R: un proceso en ejecución** está listo para ejecutarse en cuanto la CPU esté libre. Tiene todos los recursos que necesita y está esperando su *cuanto* para ejecutarse.
- **S: durmiendo**, esperando a que ocurra un evento específico (petición I/O, lectura de un *socket*...). *bash* y los demonios del sistema pasan casi todo su tiempo durmiendo, esperando la entrada por terminal o que un cliente haga una petición por la red. Estos procesos no recibirán tiempo de CPU hasta que el evento ocurra o que se reciba una señal específica.

Procesos: estados de los procesos



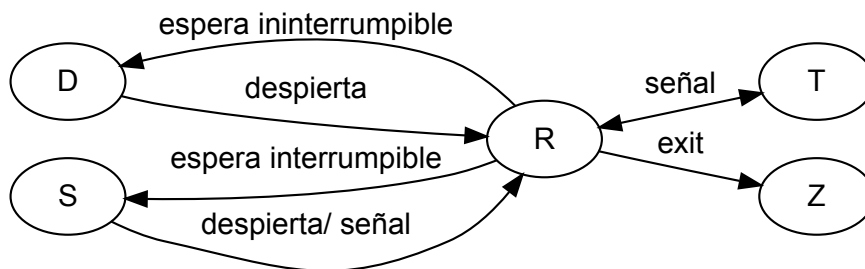
- **D: durmiendo, espera ininterrumpible.** Algunas operaciones causan este estado, en el que el proceso no maneja señales, solo despertará cuando pase el evento. Normalmente, el estado D es transitorio y no llegaríamos a verlo en el *ps*. Sin embargo, determinadas situaciones anómalas hacen que el estado se mantenga (p.ej. pedir un fichero a un servidor NFS al que no podemos acceder y que hemos montado con *hard*). Solo podemos reiniciar o arreglar el problema.

Procesos: estados de los procesos



- Z: *zombie*, el proceso termina correctamente pero el padre no recoge su código de error → Consultar el PPID para ver el origen del problema.
- T: proceso **detenido temporalmente** mediante señales (**Ctrl+Z**) o porque está siendo examinado (**trace**). Solo volverán a ejecutarse tras otra señal.

Procesos: estados de los procesos



- I: *idle*, este estado se introdujo en 2017 con la versión 4.17 del núcleo. Significa que estamos ante un proceso ocioso de un hilo del núcleo, en espera ininterrumpible. A diferencia del estado D, solo se aplica a procesos del núcleo y no contribuye a la carga de la CPU.

Procesos: estados de los procesos

- s: **líder de sesión**. Los procesos se pueden agrupar. Si se manda una señal al grupo, se le manda a todos los procesos. El líder es el que interactúa con la terminal.
- l: **hilos creados** con `CLONE_THREAD` (p.ej. hilos *Native Posix Thread Library*, *NPTL*).
- L: el proceso ha pedido al *kernel* bloquear determinadas páginas de memoria, para evitar que no se modifiquen mientras se hacen determinadas operaciones.
- +: *foreground*, proceso de primer plano, iniciado sin `&`.

Ejemplo salida ps

```
$ ps aux | less #a-> Todos usuarios, x-> Procesos sin terminal, u -> Añadir nombre de usua
USER      PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
root         1  0.0  0.0 166852 11240 ?        Ss   11:50    0:02 /sbin/init
root         2  0.0  0.0      0      0 ?        S    11:50    0:00 [kthreadd]
root         3  0.0  0.0      0      0 ?        I<   11:50    0:00 [rcu_gp]
root         4  0.0  0.0      0      0 ?        I<   11:50    0:00 [rcu_par_gp]
root        12  0.0  0.0      0      0 ?        S    11:50    0:00 [ksoftirqd/0]
root        13  0.0  0.0      0      0 ?        I    11:50    0:30 [rcu_sched]
...
pedroa    18651  0.0  0.0  14096  3400 pts/1    R+   20:36    0:00 ps aux
pedroa    18652  0.0  0.0   8140   912 pts/1    S+   20:36    0:00 less
```

```
$ ps al #a-> Todos usuarios, l -> Formato "long"
F  UID      PID      PPID PRI  NI     VSZ   RSS WCHAN  STAT TTY      TIME COMMAND
4    0       1323       1315  20   0  633340 217800 -  Ssl+ tty7      31:12 /usr/lib/xorg/Xorg
4    0       1324        1  20   0   8340   1760 -  Ss+  tty1        0:00 /sbin/agetty -o -p
0  1000    18303    18292  20   0  10644   4860 core_s Ss+  pts/0        0:00 bash
0  1000    18649    18292  20   0  10644   4912 -  Ss   pts/1        0:00 bash
4  1000    18718    18649  20   0  13816   1308 -  R+   pts/1        0:00 ps al
```

Árbol de procesos: pstree

pstree ⇒ visualiza un árbol de los procesos en ejecución

```
init---NetworkManager---2*[{NetworkManager}]
    |--acpid
    |--atd
    |--avahi-daemon---avahi-daemon
    |--bamfdaemon
    |--bluetoothd
    |--bonobo-activati---2*[{bonobo-activat}]
    |--console-kit-dae---64*[{console-kit-da}]
    |--cron
    |--cupsd
    |--2*[dbus-daemon]
    |--dbus-launch
    |--dconf-service---{dconf-service}
    |--evince---3*[{evince}]
```

```
|--evince---{evince}  
|--firefox---plugin-containe---7*[{plugin-contains}]  
|           |--21*[{firefox}]  
|--gconfd-2
```

Prioridad

Número *nice* (“buena gente”) y **prioridad de procesos**:

- Planificación de procesos por prioridades dinámicas.
- Al lanzar el proceso, se le asigna un **número *nice*** o prioridad estática (se hereda por defecto del proceso padre).
- La prioridad por defecto se obtiene mediante el número *nice*.
- Valores bajos (negativos): más prioridad.
- Valores altos (positivos): menos prioridad.
- Rango de prioridad estática $\Rightarrow [-20, 19]$

Prioridad y señales: ejemplos nice

Asignación de prioridades mayores o menores que la actual:

- `nice -5 nautilus`: lanzar `nautilus` con n° nice incrementado en 5.
- `nice --10 nautilus`: lanzar `nautilus` con n° nice decrementado en 10 (solo **root**).
- `renice 14 890`: prioridad 14 al proceso 890.
- `renice 5 -u pedroa`: prioridad 5 para todos los procesos del usuario `pedroa`.

Ejercicio nice

1. Lista la información los procesos relacionados con `apache`
2. Busca [cómo averiguar la prioridad](#) de estos procesos (hay varias alternativas).
3. Lista y cambia la prioridad a algún proceso.

Ejercicio nice (solución)

Información con `ps`:

```
$ ps aux|grep -E 'apache|COMMAND'
USER          PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
root          29822  0.0  0.0   6524  4396 ?        Ss   12:45   0:00 /usr/sbin/apache2 -k st
www-data      29823  0.0  0.0 1997844 4320 ?        Sl   12:45   0:00 /usr/sbin/apache2 -k st
www-data      29824  0.0  0.0 1932308 4316 ?        Sl   12:45   0:00 /usr/sbin/apache2 -k st
```

Con la opción `-l`:

```
ps -lu www-data
```

Una vez sabemos el PID podemos consultar su prioridad:

```
ps -o pid 29822
```

También con `top`.

Señales y procesos: kill

Envío de señales a los procesos (pararlos, hacer que continúen, eliminarlos...):

- `kill -señal pid` (donde señal es un número).
- `kill pid`: mandar señal por defecto al proceso `pid` (señal `SIGTERM`, número 15, **se puede capturar**).
- `SIGKILL` (9) fuerza la salida del proceso. **No se puede capturar**.
- Parar un proceso `SIGSTOP` (19), Reiniciarlo `SIGCONT` (18).
- `killall comando`: permite mandar una señal a todos los procesos con un determinado nombre de comando.
- `pkill` ó `skill` \Rightarrow enviar una señal usando el nombre u otros atributos o criterios (`uid`, `gid`, `terminal`...).
- Los procesos en estado D o Z no se detienen pese a recibir la señal KILL.

Señales POSIX

Signals every administrator should know^a

| # ^b | Name | Description | Default | Can catch? | Can block? | Dump core? |
|----------------|-------|----------------------|-----------|------------|------------|------------|
| 1 | HUP | Hangup | Terminate | Yes | Yes | No |
| 2 | INT | Interrupt | Terminate | Yes | Yes | No |
| 3 | QUIT | Quit | Terminate | Yes | Yes | Yes |
| 9 | KILL | Kill | Terminate | No | No | No |
| 10 | BUS | Bus error | Terminate | Yes | Yes | Yes |
| 11 | SEGV | Segmentation fault | Terminate | Yes | Yes | Yes |
| 15 | TERM | Software termination | Terminate | Yes | Yes | No |
| 17 | STOP | Stop | Stop | No | No | No |
| 18 | TSTP | Keyboard stop | Stop | Yes | Yes | No |
| 19 | CONT | Continue after stop | Ignore | Yes | No | No |
| 28 | WINCH | Window changed | Ignore | Yes | Yes | No |
| 30 | USR1 | User-defined #1 | Terminate | Yes | Yes | No |
| 31 | USR2 | User-defined #2 | Terminate | Yes | Yes | No |

a. A list of signal names and numbers is also available from the **bash** built-in command **kill -l**.

b. May vary on some systems. See `/usr/include/signal.h` or `man signal` for more information.

Fuente Nemeth et. al 2018.

Señales POSIX

| # | Nombre | Descripción | Por defecto | ¿Se puede capturar? | ¿Se puede bloquear? | ¿core dump? |
|----|--------|-----------------------|-------------|---------------------|---------------------|-------------|
| 1 | HUP | Hang up (terminal) | Terminar | Si | Si | No |
| 2 | INT | Interrumpir (Ctrl+C) | Terminar | Si | Si | No |
| 3 | QUIT | Similar a TERM | Terminar | Si | Si | Si |
| 9 | KILL | Matar proceso | Terminar | No | No | No |
| * | BUS | Error manejo bus | Terminar | Si | Si | Si |
| 11 | SEGV | Violación de segmento | Terminar | Si | Si | Si |
| 15 | TERM | Parar <i>software</i> | Terminar | Si | Si | No |
| * | STOP | Parada | Parar | No | No | No |
| * | TSTP | Parada (Ctrl+Z) | Parar | Si | Si | No |

| | | | | | | |
|---|-------|-----------------------|-----------|----|----|----|
| * | CONT | Continuar (tras STOP) | Continuar | Si | No | No |
| * | WINCH | Cambio tamaño | Continuar | Si | Si | No |
| * | USR1 | A definir | Terminar | Si | Si | No |
| * | USR2 | A definir | Terminar | Si | Si | No |

*: depende del Sistema Operativo.

Señales y procesos

- KILL (9): No se puede bloquear ni capturar.
- INT (2): La que se envía al pulsar **Crtl+C**.
 - Se puede bloquear.
 - Si se manda a un intérprete de órdenes, podría cancelar la orden que está ejecutando, pero no el programa completo.
- TERM (15): La que se manda al cerrar el proceso padre o al reiniciar. Se puede bloquear y capturar.
- Diferencia entre STOP y TSP: STOP no se puede ni bloquear ni capturar.

Señales y procesos

- HUP (1):
 - Si se trata de demonios, debería provocar que se reinicien, volviendo a leer su configuración.
 - Si se trata de procesos iniciados en una terminal, se manda al cerrar la terminal (algunos intérpretes hacen inmunes los procesos *background* a esta señal, en **bash**, hay que hacerlo con el comando **nohup**).
- QUIT (3): Similar a TERM pero hace un *core dump*.
- TSTP: La que se envía al pulsar **Crtl+Z**.
- Los procesos detenidos con TSTP o con STOP, se puede reanudar con:
 - la señal CONT, o usando el comando **fg** (vuelve al *foreground*) o **bg** (vuelve al *background*).

Monitorizar uso CPU con uptime

uptime: hora actual, cuánto tiempo lleva en marcha el sistema, número de usuarios conectados, y carga media del sistema (el número medio de procesos del sistema que durante los últimos 1, 5 y 15 minutos han estado en los estados R o D).

- Valores altos implican que el sistema se está usando mucho, pero ¿cuándo se considera que un valor es alto? → depende del número de núcleos.
- Valores bajos no significan que el tiempo de respuesta vaya a ser bajo.

```
i02samoj@VTS1:~$ uptime
13:54:52 up 7:55, 4 users, load average: 0,00, 0,00, 0,00
```

top

top: proporciona una visión continua de la actividad del procesador, en tiempo real, mostrando las tareas que hacen más uso de la CPU. Además, permite manipular procesos de forma **interactiva**.

- Las cinco líneas primeras muestran información general:
 - Estadísticas **uptime**.
 - Resumen de procesos en el sistema: n^o procesos, n^o procesos en ejecución, durmiendo, parados o zombies.
 - Porcentaje de tiempo de CPU gastado en: modo usuario (**us**), modo sistema o núcleo (**sy**), procesos valor **nice** positivo (**ni**), tiempo ocioso (**id**), procesos esperando eventos E/S (**wa**), tratando interrupciones (*hardware* o *software*, **hi** o **si**), espera involuntaria en virtualización (**st**).
 - Estado actual de la memoria física: total disponible, usada, libre, usada en *buffers*.
 - Espacio swap: total disponible, usada, libre, usada en *buffers*, usada en caché de página.

top (ejemplo)

```
top - 14:06:52 up 4:58, 1 user, load average: 0,73, 1,04, 1,09
Tareas: 338 total, 1 ejecutar, 336 hibernar, 0 detener, 1 zombie
%Cpu(s): 2,4 usuario, 1,2 sist, 0,0 adecuado, 96,0 inact, 0,0 en espera, 0,0 hardw in
MiB Mem : 31976,8 total, 16274,0 libre, 5729,4 usado, 9973,5 búfer/caché
```

MiB Intercambio: 2048,0 total, 2048,0 libre, 0,0 usado. 24470,8 dispon Mem

| PID | USUARIO | PR | NI | VIRT | RES | SHR | S | %CPU | %MEM | HORA+ | ORDEN |
|-------|---------|----|-----|---------|--------|--------|---|------|------|----------|---------------------|
| 927 | root | 20 | 0 | 1059784 | 340240 | 279388 | S | 6,9 | 1,0 | 24:22.48 | Xorg |
| 14955 | javi | 20 | 0 | 54,5g | 300016 | 117956 | S | 5,6 | 0,9 | 10:38.54 | code |
| 14926 | javi | 20 | 0 | 32,5g | 129396 | 87796 | S | 5,0 | 0,4 | 3:36.17 | code |
| 14860 | javi | 20 | 0 | 658428 | 69480 | 47412 | S | 3,0 | 0,2 | 0:28.59 | mate-terminal |
| 1174 | javi | 9 | -11 | 2460768 | 20644 | 15760 | S | 2,0 | 0,1 | 6:21.53 | pulseaudio |
| 1402 | javi | 20 | 0 | 386468 | 80468 | 47844 | S | 1,3 | 0,2 | 4:31.08 | marco |
| 2307 | javi | 20 | 0 | 20,6g | 755064 | 283428 | S | 1,3 | 2,3 | 64:47.79 | firefox-bin |
| 38250 | javi | 20 | 0 | 14892 | 4132 | 3296 | R | 1,0 | 0,0 | 0:00.15 | top |
| 1292 | javi | 20 | 0 | 317004 | 11644 | 6160 | S | 0,7 | 0,0 | 2:24.85 | ibus-daemon |
| 1916 | javi | 20 | 0 | 3680980 | 594664 | 237824 | S | 0,7 | 1,8 | 6:55.73 | thunderbird |
| 710 | root | 20 | 0 | 486964 | 20516 | 17240 | S | 0,3 | 0,1 | 0:17.27 | NetworkManager |
| 1424 | javi | 20 | 0 | 756152 | 108576 | 51740 | S | 0,3 | 0,3 | 1:02.19 | mintmenu |
| 1569 | javi | 20 | 0 | 5177956 | 295572 | 76252 | S | 0,3 | 0,9 | 2:01.15 | dropbox |
| 14892 | javi | 20 | 0 | 36,6g | 191608 | 136864 | S | 0,3 | 0,6 | 1:47.41 | code |
| 25532 | root | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | I | 0,3 | 0,0 | 0:05.80 | kworker/u16:4-event |
| 26234 | javi | 20 | 0 | 2574928 | 164384 | 95444 | S | 0,3 | 0,5 | 0:31.49 | Isolated Web Co |
| 29156 | javi | 20 | 0 | 1596016 | 205008 | 129828 | S | 0,3 | 0,6 | 0:21.91 | VirtualBox |
| 29176 | javi | 20 | 0 | 77236 | 15284 | 12404 | S | 0,3 | 0,0 | 0:13.22 | VBoxXPCOMIPCD |
| 31941 | javi | 20 | 0 | 2821780 | 302532 | 114364 | S | 0,3 | 0,9 | 1:02.87 | Isolated Web Co |

top (ejemplo)

```
top - 14:17:32 up 5:00, 1 user, load average: 1.10, 1.02, 1.01
Tasks: 332 total, 1 ejecutar, 331 hibernar, 0 detenido, 1 zombie
kcpus(s): 7,0 usuario, 2,1 sist, 0,0 abocado, 89,9 inact, 0,0 en espera, 0,0 hardw int, 0,9 softw
MiB Mem : 31976,8 total, 16197,8 libre, 5644,7 usado, 16134,3 búfer/cache
MiB Intercambio: 2048,0 total, 2048,0 libre, 0,0 usado, 24472,1 dispon Mem
```

| PID | USUARIO | PR | NI | VIRT | RES | SHR | S | %CPU | %MEM | HORA+ | ORDEN |
|-------|---------|----|-----|---------|--------|--------|---|------|------|----------|-------------------------------|
| 927 | root | 20 | 0 | 1145992 | 384980 | 320144 | S | 10,6 | 1,2 | 25:27.08 | Xorg |
| 14955 | javi | 20 | 0 | 54,5g | 308660 | 118180 | S | 15,0 | 1,0 | 12:16.25 | code |
| 14926 | javi | 20 | 0 | 32,5g | 132788 | 89596 | S | 10,3 | 0,4 | 4:03.14 | code |
| 1426 | javi | 20 | 0 | 569892 | 162640 | 159184 | S | 9,0 | 0,6 | 2:22.56 | wnck-applet |
| 39340 | javi | 20 | 0 | 394568 | 45420 | 35804 | S | 5,6 | 0,1 | 0:00.17 | mate-notificati |
| 1402 | javi | 20 | 0 | 386468 | 80592 | 47968 | S | 2,7 | 0,2 | 4:44.04 | marco |
| 9725 | javi | 20 | 0 | 714424 | 123328 | 76416 | S | 2,7 | 0,4 | 0:00.38 | flameshot |
| 1174 | javi | 9 | -11 | 2460768 | 20644 | 15760 | S | 1,7 | 0,1 | 6:23.28 | pulseaudio |
| 1498 | javi | 20 | 0 | 64112 | 36780 | 18812 | S | 1,7 | 0,1 | 0:00.76 | applet.py |
| 14892 | javi | 20 | 0 | 36,6g | 188948 | 136816 | S | 1,3 | 0,6 | 1:59.22 | code |
| 1393 | javi | 20 | 0 | 889552 | 51840 | 37268 | S | 1,0 | 0,2 | 0:52.00 | mate-settings-d |
| 37550 | root | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | I | 1,0 | 0,0 | 0:02.82 | kworker/6:0-events |
| 39346 | javi | 20 | 0 | 14852 | 4164 | 3348 | R | 1,0 | 0,0 | 0:00.13 | top |
| 1292 | javi | 20 | 0 | 317004 | 11644 | 6160 | S | 0,7 | 0,0 | 2:32.49 | ibus-daemon |
| 1424 | javi | 20 | 0 | 756152 | 109388 | 51740 | S | 0,7 | 0,3 | 1:55.56 | mintmenu |
| 15628 | javi | 20 | 0 | 36,4g | 237276 | 71540 | S | 0,7 | 0,7 | 2:49.12 | code |
| 31823 | root | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | D | 0,7 | 0,0 | 0:03.28 | kworker/u16:10-events_unbound |
| 38932 | javi | 20 | 0 | 2579252 | 178220 | 106604 | S | 0,7 | 0,5 | 0:11.08 | Isolated Web Co |
| 1 | root | 20 | 0 | 169352 | 12776 | 8312 | S | 0,3 | 0,0 | 0:03.12 | systemd |
| 710 | root | 20 | 0 | 486964 | 20516 | 17240 | S | 0,3 | 0,1 | 0:17.61 | NetworkManager |
| 1190 | javi | 20 | 0 | 6912 | 6316 | 4020 | S | 0,3 | 0,0 | 0:01.84 | dbus-daemon |
| 1384 | javi | 20 | 0 | 318108 | 43148 | 34776 | S | 0,3 | 0,1 | 0:34.89 | ibus-ui-gtk3 |
| 1388 | javi | 20 | 0 | 307744 | 31008 | 20820 | S | 0,3 | 0,1 | 0:31.10 | ibus-extension- |
| 1333 | javi | 20 | 0 | 8600 | 5704 | 3928 | S | 0,3 | 0,0 | 0:19.27 | dbus-daemon |
| 1338 | javi | 20 | 0 | 162948 | 7804 | 6968 | S | 0,3 | 0,0 | 0:12.73 | at-spi2-registr |
| 1394 | javi | 20 | 0 | 165740 | 7964 | 6964 | S | 0,3 | 0,0 | 0:32.33 | ibus-engine-sin |
| 1916 | javi | 20 | 0 | 3748076 | 603864 | 239844 | S | 0,3 | 1,9 | 7:01.08 | thunderbird |

top: interacción

- Los datos de la parte inferior son similares a los de ps (excepto [SHR] memoria compartida disponible para ser utilizada).

- Procesos ordenados decrecientemente por uso de CPU.
- Lista actualizada interactivamente, normalmente cada 5s o pulsar intro/espacio.

top: interacción

- Tareas sobre los procesos:
 - Cambiar la prioridad de alguno utilizando la opción “r”.
 - Matar o enviar una señal con la opción “k”.
 - Ordenarlos según diferentes criterios (por PID con “N”, uso de CPU con “P”, tiempo con “T”, por memoria con “M”, etc.).
 - Con “n” se cambia el número de procesos que se muestran.
 - Para salir se utiliza la letra “q”.
 - “u” mostrar un usuario.
 - “R” cambiar ordenación.
 - “1” información independiente por cada procesador.

Alternativas a top

top viene con todas las distribuciones de linux, pero hay [otras alternativas](#) como htop

```

1  [  ] 0.0% 5 [  ] 0.0%
2  [  ] 0.0% 6 [  ] 0.0%
3  [  ] 0.0% 7 [  ] 0.0%
4  [  ] 0.0% 8 [  ] 0.0%
Mem [ ] 0.0% Tasks: 191, 1788 (0: 1 running)
Swap [ ] 0.0% Load average: 0.73 0.66 0.59
Uptime: 65:03.13

  PID USER      PR  NI  VIRT  RES  SHR  %CPU  %MEM     time+  command
 117 root        20   0  10276 3808 2808  S 12.2  1.1 24:46.20 /usr/lib/xorg/Xorg -core :0 -seat seat
 927 root        20   0  20.6G 7308 2808  S 12.6  2.3 105:10 /usr/lib/firefox/firefox https://www.u
38832 java      20   0  2517M 1708 1020  S 3.8  0.6  0:06.68 /usr/lib/firefox/firefox-bin -contentp
14860 java    20   0  640M 73556 0.240  S 3.1  0.2  0:22.02 mate-terminal
30968 java    20   0  14780 660 332   S 2.5  0.0  0:03.17 htop
2512 java      20   0  7060M 3010 1070  S 2.5  0.9  0:57.50 /usr/lib/firefox/firefox-bin -contentp
1426 java      20   0  150M 1200 204   S 1.9  0.6  2:14.47 /usr/lib/mate-panel/mnck-applet
1174 java      9   0  2401M 0.644 1760  S 1.9  0.1  0:27.20 /usr/bin/pulseaudio --daemonize --l
1642 java      -6   0  3401M 0.644 1760  S 1.9  0.1  5:37.27

  PID USER      PR  NI  VIRT  RES  SHR  %CPU  %MEM     time+  command
 117 root        20   0  20.6G 7308 2808  S 12.2  2.3 105:10 /usr/lib/firefox/firefox https://www.u
1482 java      20   0  1017M 3840 2808  S 1.3  1.1 1:14.27 /usr/lib/xorg/Xorg -core :0 -seat seat
 941 root        20   0  2517M 1708 1020  S 3.8  0.6  0:06.68 /usr/lib/firefox/firefox-bin -contentp
1424 java      20   0  730M 1000 1740  S 0.6  0.3 1:03.22 mintmenu
2322 java      20   0  20.6G 7308 2808  S 12.6  2.3 105:10 /usr/lib/firefox/firefox https://www.u
2372 java      20   0  20.6G 7308 2808  S 12.6  2.3 105:10 /usr/lib/firefox/firefox https://www.u
29185 java     20   0  800M 20596 2512  S 0.6  0.1  0:23.49 /usr/lib/firefox/firefox-bin -contentp
32496 java     20   0  2491M 1300 9676  S 0.6  0.5  0:31.99 /usr/lib/firefox/firefox-bin -contentp
29182 java     20   0  800M 20596 2512  S 0.6  0.1  0:29.25 /usr/lib/virtualbox/VBoxSVC --auto-shu
38360 java     20   0  2410M 1200 8412  S 0.6  0.4  0:00.00 /usr/lib/firefox/firefox-bin -contentp
15742 java     20   0  10.9G 0.1428 7848  S 0.6  0.2  0:02.42 /usr/lib/firefox/firefox https://www.u
2330 java      20   0  20.6G 7308 2808  S 12.6  2.3 105:10 /usr/lib/firefox/firefox https://www.u
2465 java      20   0  20.6G 7308 2808  S 12.6  2.3 105:10 /usr/lib/firefox/firefox https://www.u
F1 P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8 P9 P10 P11 P100011

```

Ejercicio top

1. Recuerda que puedes ver la ayuda pulsando **h**.
2. Prueba a monitorizar los procesos de un solo usuario.
3. Prueba a ordenar por diferentes criterios. Busca el proceso que más memoria consume.
4. Busca cómo saber el número de hilos del sistema.
5. Instala **htop** y prueba de nuevo.

vmstat

****vmstat** [options] [delay [count]]: información sobre memoria virtual (y más)

- **r** ⇒ número de procesos esperando su tiempo de ejecución.
- **b** ⇒ número de procesos en espera ininterrumpible.
- **us** ⇒ tiempo de CPU en modo usuario (modo usuario).
- **sy** ⇒ tiempo de CPU en modo sistema (modo núcleo).
- **id** ⇒ tiempo de CPU en inactividad.
- **wa** ⇒ tiempo de CPU usado en espera de E/S.
- **st** ⇒ tiempo de CPU usado en virtualización.

vmstat: ejemplo

Repetir cada 2 segundos 5 veces:

```
$ vmstat 2 5
procs  -----memory----- -swap- --io-- -system-- -----cpu-----
r  b   swpd      free   buff   cache si   so   bi bo   in    cs us sy id wa st
0  0      0 10368052 221628 3251020 0    0 109 71  142  482 5  1 93  0  0
0  0      0 10367408 221636 3251288 0    0   0 58 1526 7113 4  2 94  0  0
0  0      0 10350648 221636 3269616 0    0   0 0 1165 3711 9  1 90  0  0
1  0      0 10351420 221636 3268904 0    0   0 0  575 1578 6  0 93  0  0
1  0      0 10345792 221636 3274928 0    0   0 26 2497 8090 6  3 91  0  0
```

Más posibilidades en [How to Use the vmstat Command](#)

Carpeta `/proc`

`ps` y `top` leen la información que necesitan de `/proc`.

Cada proceso tiene una carpeta (cuyo nombre es el `pid`) y en esa carpeta hay información sobre el mismo:

- `cmdline`: línea de comandos con que fue iniciado.
- `cwd`: enlace simbólico al directorio actual del proceso.
- `environ`: Las variables de entorno en el momento de invocación.
- `exe`: enlace simbólico al fichero ejecutado.
- `fd`: carpeta con cualquier descriptor de fichero abierto.
- `maps`: información de mapeo de memoria.
- `root`: enlace simbólico a la raíz del sistema (`/`).
- `stat`: estado del proceso.
- `statm`: uso de memoria.

Ejercicio: monitoriza apache

1. Instala las utilidades de apache:

```
sudo apt install apache2-utils
```

1. Vamos a usar *apache benchmark* para probar el rendimiento de nuestro servidor. Nota: Idealmente `ab` debe utilizarse desde otra máquina distinta al servidor.

```
# esto lanza 10000 peticiones con un máximo de 100 concurrentes
ab -n 10000 -c 100 http://localhost/
```

1. Abre 3 terminales en tu servidor.
2. Inicia `top` para vigilar la CPU.
3. Lanza `vmstat` para mostrar información periódicamente.
4. Usa `ab` y observa qué pasa.

Ejercicio: fork bomb

El siguiente código lanza una subprocesos de forma recursiva `:(){ :|:& };;`. [ATENCIÓN: prueba esto sólo en tu máquina virtual]. Explicación en [Understanding Bash fork\(\) Bomb](#).

1. Lanza `vmstat 1`.
2. Lanza el ataque:

```
:(){ :|:& };;
```

1. Intenta arreglarlo.
2. ¿Cómo podemos protegernos frente a este ataque?

4 Programación y temporizadores

Programar ejecución de procesos con at

`at`: ejecutar tareas a una determinada hora (no viene instalado por defecto).

- Puede recibir un fichero de texto con las órdenes a ejecutar.
- Dispone de un prompt para ir introduciendo las órdenes (`Ctrl+D` para finalizar introduce `<EOT>`).
- `atd`: demonio que ejecuta las órdenes.
- `atq`: consulta la lista de órdenes.
- `atrm`: eliminar órdenes.

at: ejemplo

```
$ date
lun 20 mar 2023 14:36:50 CET
$ at 14:40
warning: commands will be executed using /bin/sh
at> echo "Hola Mundo" > /tmp/saludo
at> <EOT>
job 3 at Mon Mar 20 14:40:00 2023
$ atq
3   Mon Mar 20 14:40:00 2023 a javi
$ date ; cat /tmp/saludo
```

```

lun 20 mar 2023 14:37:39 CET
cat: /tmp/saludo: No existe el archivo o el directorio
$ date ; cat /tmp/saludo
lun 20 mar 2023 14:40:20 CET
Hola Mundo

```

Tareas periódicas con cron

- **cron**: ejecutar tareas periódicamente.
 - **crond**: demonio encargado de ejecutar las órdenes.
 - **crontab**: establecer las tareas a ejecutar (**-e**: añadir/modificar tareas, **-l**: listar tareas, **-r**: eliminar tareas).
 - **/etc/crontab**: fichero de configuración del administrador.
 - **/etc/cron.d**: directorio en el que el administrador puede copiar ficheros con formato del **crontab** que ejecutará **cron**.

crontab

- Formato de **crontab**:
 minuto hora día_mes mes día_semana [user] comando
- Se interpreta como una conjunción de condiciones, salvo para **día_semana** y **día_mes** (que sería disyunción).
- Los domingos son el día 0 y 7 de la semana.

```

# Hacer una copia de seguridad del home cada semana
0 5 * * 1      tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
# Otras tareas
5 9 * * *      $HOME/tareadiaria      # 9:05
15 14 1 * *    $HOME/tareames         # 14:15 el día 1 cada mes
0 22 * * 1-5    $HOME/tareasemanal    # 22:0 de lunes a viernes
21 0-23/2 * * * $HOME/tareacada2horas # 0h, 2h, 4h, 6h, y 21m
5 4 * * sun     $HOME/tareadomingos   # Domingos a las 4:05
0 9 1 * 5       $HOME/otratarea       # A las 9:00h el día 1
                                     # de cada mes 0 los viernes

```

anacron

- Si la máquina no está encendida cuando se ha requerido lanzar el proceso \Rightarrow **cron** no lo lanza.
- Se podría hacer `0 10 */3 * *` para conseguir algo parecido (lo intentaría a las 10h cada tres días).
- **anacron**: no asume que la máquina está siempre encendida.
 - Combina el uso de *scripts* al inicio con el uso de **cron**.
 - Permite especificar tareas diarias, semanales o mensuales, de forma muy simple.
 - Introducir aplicaciones o enlaces a las mismas en:
* `/etc/cron.daily/`, `/etc/cron.hourly/`, `/etc/cron.monthly/`, `/etc/cron.weekly/`

5 Rastreo de procesos

Rastreo de señales y llamadas al sistema

El comando **strace** nos permite observar qué es lo que está haciendo un proceso.

Muestra cada llamada al sistema que hace y cada señal que recibe.

- **strace -p pid**: rastrear un proceso ya iniciado.
- **strace comando**: iniciar un proceso y rastrearlo.
- **strace -o salida.txt comando**: utilizar un fichero para guardar la salida.

Procesos acaparadores:

- Como administradores, debemos sospechar cuando un proceso acapara mucha CPU.
- Antes de matarlos, deberíamos saber qué están haciendo.
- Si el proceso parece legítimo, deberíamos suspenderlo con **STOP**, aplicarle **renice** y reanudarlo con **CONT** tras hablar con el dueño del proceso.

Rastreo de señales y llamadas al sistema

```
while 1
  mkdir adir
  cd adir
  touch afile
end
```

- No consume mucho espacio, pero bloquea el uso del disco ¿por qué?.
- El árbol que se genera es tan grande, que ni si quiera `rm -R` es capaz de manejarlo.

6 Memoria

Control/gestión de la actividad de la memoria

- Intercambio y paginación \Rightarrow memoria virtual para alojar procesos.
- Debemos gestionar la RAM y la zona de intercambio.
- **vmstat** (todo en KBs):
 - **swpd** \Rightarrow Cantidad de memoria virtual (intercambio) ocupada.
 - **free** \Rightarrow Cantidad de memoria virtual sin usar.
 - **buff** \Rightarrow Cantidad de memoria empleada como buffers para E/S (memoria temporal empleada por algunos dispositivos, p.ej. una tarjeta de red).
 - **cache** \Rightarrow La cantidad de memoria empleada como caché de disco.

```
$ vmstat 2 2
procs -----memory----- --swap- --io-- -system-- -----cpu-----
r  b  swpd    free   buff   cache  si  so  bi bo  in    cs us sy id wa st
0  0      0 10368052 221628 3251020  0   0 109 71 142  482 5  1 93  0  0
0  0      0 10367408 221636 3251288  0   0   0 58 1526 7113 4  2 94  0  0
```

Control/gestión de la actividad de la memoria

- **vmstat**

- **si** ⇒ Cantidad de memoria traída del espacio de intercambio desde disco en KB/s.
- **so** ⇒ Cantidad de memoria intercambiada al disco en KB/s.
- **bi** ⇒ Bloques recibidos desde un dispositivo de bloques (en bloques/s).
- **bo** ⇒ Bloques enviados a un dispositivo de bloques (en bloques/s).
- **in** ⇒ N° de interrupciones por segundo (contando el reloj).
- **cs** ⇒ N° de cambios de contexto por segundo.

```
$ vmstat 2 2
procs -----memory----- --swap- --io-- -system-- -----cpu-----
r  b  swpd      free   buff   cache  si  so  bi bo   in   cs us sy id wa st
0  0    0 10368052 221628 3251020   0   0 109 71  142  482 5  1 93  0  0
0  0    0 10367408 221636 3251288   0   0   0 58 1526 7113 4  2 94  0  0
```

Memoria de intercambio

Espacio para paginación:

- ¿Qué **tamaño** es el adecuado para la paginación?. Depende:
 - Memoria requerida por los procesos, número de procesos simultáneos, etc...
 - Demanda del sistema.
 - En portátiles, para posibilitar la hibernación, al menos tanto espacio como memoria RAM.
- Se puede tener una **partición de intercambio** o un **fichero de intercambio**, ¿qué opción es la mejor?
- Se puede controlar con números de prioridad en **/etc/fstab**.

Gestión memoria de intercambio:

Espacio para paginación:

- `swapon -s`: nos da un listado de particiones o ficheros activos.
- `swapon /dev/sdd1`: activar una determinada partición.
- `swapoff /dev/sdd1`: desactivar una determinada partición.
- ¿Cómo se crea un fichero de paginación?

```
# El fichero debe ser contiguo en disco
sudo dd if=/dev/zero of=/.fichero_swap bs=1048576 count=1024
sudo mkswap /.fichero_swap
sudo sync
sudo swapon /.fichero_swap
```

Uso de memoria: free

`free`: obtener información sobre el uso de memoria (mismos campos que `top`).

```
$ free
total          used          free        shared  buff/cache   available
Mem:      16203968      3778368      3046064          570784      9379536      11514988
Swap:              0              0              0
```

7 Dispositivos Entrada/Salida

Espacio en disco: df

Espacio en disco (**particiones**):

- `df`: muestra la capacidad, el espacio libre y el punto de montaje de cada sistema de ficheros del equipo.

```
$ df -h
S.ficheros      Tamaño Usados  Disp Uso% Montado en
udev            7,7G      0    7,7G  0% /dev
tmpfs           1,6G    1,8M    1,6G  1% /run
/dev/nvme0n1p6  58G    32G    24G  58% /
```

```
tmpfs          7,8G   279M   7,5G    4% /dev/shm
tmpfs          5,0M    4,0K   5,0M    1% /run/lock
/dev/nvme0n1p5 314G   131G   167G   45% /home
/dev/loop1      83M     83M      0 100% /snap/scrcpy/274
...
```

- Si el sistema de ficheros raíz se quedase sin espacio el sistema tendría problemas. P.ej., no podría arrancar, (¿por qué?).
- “-i” nos permite mostrar información sobre los nodos-i.

```
$ df -i /dev/nvme0n1p5
S.ficheros      Nodos-i  NUsados  NLibres  NUsos% Montado en
/dev/nvme0n1p5 20946944 1021112 19925832    5% /home
```

Espacio en disco: du

Espacio en disco (**carpetas**):

- du: muestra el espacio usado por cada subdirectorio del directorio actual.

```
/PAS$ du -h --max-depth=1
196K    ./Programa2021
176K    ./logs
32K     ./reservas
79M     ./Evaluacion
45M     ./MaterialDocente
6,9M    ./guiaDocente
1,4M    ./listaClase
133M
```

- Si no ponemos `--max-depth=1` nos muestra **todas** las carpetas.
- La última línea es el acumulado.
- ¡OJO! **du** cuenta bloques del sistema de ficheros, estén o no completamente ocupados (para un fichero de 1B cuenta 4 KB).

Estadísticas memoria: iostat

Estadísticas de entrada/salida de disco

`iostat intervalo numero`: presenta estadísticas sobre la CPU y los dispositivos y particiones de E/S.

- `tps` \Rightarrow n° de transferencias por segundo.
- `kB_read/s` \Rightarrow n° de kBs leídos por segundo.
- `kB_wrtn/s` \Rightarrow n° de kBs escritos por segundo.
- `kB_read` \Rightarrow n° total de kBs leídos.
- `kB_wrtn` \Rightarrow n° total de kBs escritos.

```
$ iostat
Linux 5.4.0-144-generic      20/03/23    _x86_64_    (8 CPU)

avg-cpu:  %user   %nice %system %iowait  %steal   %idle
           7,41    0,79   2,62    0,91    0,00   88,28

Device            tps    kB_read/s    kB_wrtn/s    kB_read    kB_wrtn
loop0              0,11         0,91         0,00       1158         0
...
nvme0n1           218,69       3299,26       2384,25     4185145     3024449
loop8              0,09         0,89         0,00        1131         0
loop9              0,13         0,93         0,00        1181         0
...
dm-0               208,57       1415,84       427,96     1796005     542868
```

Procesos y acceso a disco: iotop

iotop:

Is your Linux server too slow or load is too high? One of the possible causes of such symptoms may be high IO (input/output) waiting time, which basically means that some of your processes need to read or write to a hard drive while it is too slow and not ready yet, serving data for some other processes.

Common practice is to use `iostat -x` in order to find out which block device (hard drive) is slow, but this information is not always helpful. It could help you much more if you knew which process reads or writes the most data from your slow disk, so you could renice it using `ionice` or even kill it.

iotop identifies processes that use high amount of input/output requests on your machine. It is similar to the well known top utility, but instead of showing you what consumes CPU the most, it lists processes by their IO usage. Inspired by iotop Python script from Guillaume Chazarain, rewritten in C by Vyacheslav Trushkin and improved by Boian Bonev so it runs without Python at all.

8 Referencias

Referencias

Evi Nemeth, Garth Snyder, Trent R. Hein, Ben Whaley y Dan Mackin. Unix and Linux system administration handbook. Capítulo 4. *Process Control*, Capítulo 10. *Logging*. Addison-Wesley. 5th Edition. 2018.

Aeleen Frisch. Essential system administration. Capítulo 15. *Managing system resources*. O'Reilly and Associates. Tercera edición. 2002.