

---

## TEMA 1

---

# Introducción a la Ingeniería de Servidores

**PROBLEMA 1.1** Un programa para la simulación de sistemas hidráulicos se ejecuta en 122 segundos. Si las operaciones de división con números reales consumen el 73 % de este tiempo, ¿en cuánto se tendría que mejorar la velocidad de estas operaciones si queremos conseguir que dicho programa se ejecute seis veces más rápidamente? ¿Cuál es la aceleración máxima que podríamos conseguir si pudiésemos acelerar dichas operaciones tanto como quisiéramos?

SOLUCIÓN: El programa no se puede ejecutar seis veces más rápidamente actuando solamente sobre las operaciones de división de números reales. La aceleración más alta que se conseguiría mejorando estas operaciones al máximo es 3,7.

■

---

**PROBLEMA 1.2** Una mejora en un sitio web ha permitido rebajar de 17 a 9 segundos el tiempo medio de descarga de sus páginas. Si la mejora ha consistido en hacer 3 veces más rápido el subsistema de discos que almacena las páginas del servidor, ¿cuánto tiempo se dedicaba a acceder a los discos antes de realizar la mejora?

SOLUCIÓN: De los 17 segundos del tiempo de respuesta del sistema antes de la mejora, 12 se empleaban en el acceso a los discos.

■

---

**PROBLEMA 1.3** Un computador tarda 100 segundos en ejecutar un programa de simulación de una red de interconexión para multicomputadores. El programa dedica el 30 % en hacer operaciones de aritmética entera, el 60 % en hacer operaciones de aritmética en coma flotante, mientras que el resto se emplea en operaciones de entrada/salida. Calcule el tiempo de ejecución si las operaciones aritméticas enteras y reales se aceleran de manera simultánea 2 y 3 veces, respectivamente.

SOLUCIÓN: El tiempo de ejecución del simulador en el sistema mejorado es de 45 segundos.

■

---

**PROBLEMA 1.4** Una aplicación informática se ejecuta en un computador durante un total de 70 segundos. Mediante el uso de un monitor de actividad se ha podido saber que el 85 % del tiempo se utiliza la tarjeta de red, mientras que el resto del tiempo se hace uso del procesador. Se pide:

1. Calcular el incremento de prestaciones si se mejora en 8 veces la velocidad de la tarjeta de red.
2. Determinar en cuánto hay que mejorar el rendimiento del procesador si se quiere ejecutar la aplicación en 25 segundos.

Nota: en ambos casos considérese el sistema original como punto de partida.

SOLUCIÓN: En el primer caso la mejora obtenida es  $A = 3,9$ . En el segundo caso el objetivo no puede conseguir mejorando únicamente el rendimiento del procesador.

■

**PROBLEMA 1.5** Deduzca, a partir de la expresión de la ley de Amdahl, una expresión para la fracción de tiempo  $f$  en función de  $A$  y  $k$ .

SOLUCIÓN: La expresión para  $f$  queda:  $f = \frac{k(A-1)}{A(k-1)}$

■

**PROBLEMA 1.6** El administrador de un sistema informático pretende aumentar el rendimiento para evitar que el director del centro lo cese en sus funciones (ha habido más de quince quejas de usuarios en el último mes por el excesivo tiempo de ejecución de los programas). Indíquese, teniendo en cuenta la relación entre prestaciones y coste, qué opción de actualización de un sistema informático, de las dos que se enumeran, resultará más ventajosa:

1. Cambio del procesador (250 €). Esta modificación permite que el 75 % de los programas se ejecuten dos veces más rápidamente.
2. Ampliación de la memoria principal (150 €). La capacidad extra de memoria mejora tres veces el tiempo de ejecución del 40 % de los programas.

SOLUCIÓN: La opción más ventajosa teniendo en cuenta la relación entre las prestaciones y el coste es ampliar la memoria principal.

■

**PROBLEMA 1.7** Un programa de predicción meteorológica tarda 84 minutos en ejecutarse en un supercomputador diseñado al efecto. Sin embargo, esta cantidad de tiempo origina muchos problemas para los estudios de los meteorólogos. El responsable del equipo informático quiere reducir este tiempo sustituyendo la memoria principal por una más rápida, para lo cual existen dos modelos alternativos:

1. Modelo Lupita (900 e), que disminuye el tiempo de ejecución hasta los 71 minutos.
2. Modelo Lucho (1300 e), que rebaja este tiempo de ejecución hasta los 63 minutos.

Determine cuál de los dos modelos anteriores representa la mejor opción.

SOLUCIÓN: La mejor opción de las dos es la primera.

■

---

**PROBLEMA 1.8** El tiempo medio de respuesta de un sitio web es de 15 segundos. Mediante un monitor software ha podido determinar que el 55 % de este tiempo es utilizado por el subsistema de discos, mientras que el resto se dedica a la ejecución de los scripts en el procesador de 2 GHz de que dispone el servidor. El administrador del sitio, después de soportar estoicamente las quejas de los usuarios, pretende reducir este tiempo por debajo de los 11 segundos. ¿Cuál de las dos opciones planteadas a continuación consigue este objetivo?

1. Adquirir un nuevo procesador que trabaja a 3 GHz.
2. Substituir el subsistema de discos por uno de segunda mano 2,5 veces más rápido que el actual.

SOLUCIÓN: La segunda opción consigue un tiempo de respuesta aproximado de 10 segundos.

■

---

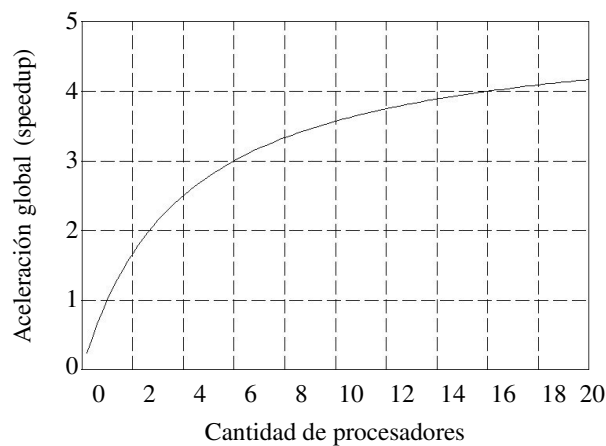
**PROBLEMA 1.9** Un programa de simulación de sistemas aerodinámicos de control se ejecuta en 280 segundos. El 70 % del tiempo de ejecución se utiliza el procesador; el resto se dedica a acceder al subsistema de discos. Un incremento del presupuesto aportado por el ministerio ha permitido adquirir un nuevo procesador tres veces más rápido.

1. Determine el tiempo de ejecución del simulador después de actualizar el procesador.
2. Calcule ahora, esto es, después de haber hecho la actualización del procesador, cuál es la fracción del tiempo mejorado de ejecución durante el cual se utiliza el nuevo procesador. Haga un análisis del fenómeno observado.
3. A raíz del resultado obtenido en el apartado anterior, si hubiéramos de mejorar este sistema actualizado, ¿sobre qué componente del mismo deberíamos incidir? Justifique numéricamente la respuesta.

SOLUCIÓN: El tiempo de ejecución obtenido con la actualización del procesador es de 149,3 segundos. En el sistema actualizado el procesador se utiliza durante la fracción  $f = 0,44$  del tiempo de ejecución anterior. En este contexto las mejoras significativas del sistema se conseguirán actuando sobre el subsistema de discos.

■

**PROBLEMA 1.10** Un equipo de biólogos que investiga sobre clonación de células utiliza el multiprocesador ALLIANT para ejecutar un simulador. Este computador está configurado actualmente con un número fijo de  $p = 6$  procesadores y el programa de simulación se puede paralelizar en una fracción  $f$ . La figura adjunta presenta la aceleración conseguida por la máquina paralela en la ejecución del simulador para diferentes valores del mencionado parámetro  $p$ .



Aceleración global  $A$  obtenida por el computador ALLIANT con 6 procesadores.

1. ¿Cuál es la fracción paralelizable  $f$  del programa de simulación?
2. Si la versión secuencial del simulador se ejecuta en un único procesador en 325 segundos, ¿cuánto tiempo han de esperar los biólogos para obtener los resultados con la actual configuración del multiprocesador?
3. Los científicos pretenden obtener resultados del simulador en un tiempo máximo de veinte segundos sin modificar el código del programa. Si el sistema ALLIANT está preparado para ampliar el número de procesadores hasta  $p = 30$ , ¿podrán conseguir los biólogos su objetivo?
4. Un informático afirma que el sistema ALLIANT podría conseguir el objetivo anterior con  $p = 6$  procesadores si se reduce a la mitad la fracción secuencial del simulador. ¿Es válida esta propuesta?

**SOLUCIÓN:**

1. La fracción paralelizable es  $f = 0,8$ .
2. El tiempo de ejecución del simulador en el procesador es 108,3 segundos.
3. El objetivo no se puede conseguir con 30 procesadores, ya que el tiempo de ejecución conseguido es de poco más de 73 segundos.
4. La propuesta no es válida, ya que el tiempo de ejecución conseguido es de 81,26 segundos.

■

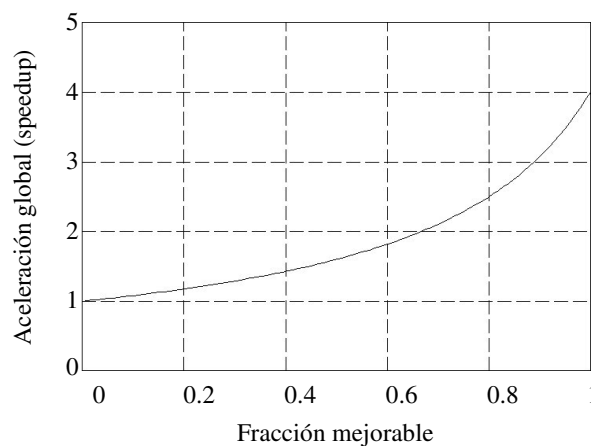
**PROBLEMA 1.11** Ante la necesidad de reducir el tiempo de ejecución de un programa de cálculo de trayectorias espaciales, un equipo de arquitectos de computadores ha diseñado un nuevo procesador que mejora 15 veces la ejecución de las operaciones de coma flotante. El programa, cuando se ejecuta utilizando este nuevo procesador, emplea el 65 % del tiempo en la realización de operaciones de coma flotante.

1. Calcule la fracción de tiempo durante el cual se utilizaba la coma flotante en el sistema con el procesador original.
2. Indique cuál es la aceleración global conseguida por el nuevo procesador.

**SOLUCIÓN:** La fracción del tiempo de ejecución en el sistema inicial es  $f = 0,965$ . La aceleración obtenida con el nuevo procesador es  $A = 10$ .

■

**PROBLEMA 1.12** La gráfica adjunta muestra la aceleración global, calculada mediante la ley de Amdahl, que se consigue en un computador después de reemplazar la vieja unidad de disco por una nueva. La curva de la aceleración se ha calculado para diferentes valores de la fracción  $f$  del tiempo de ejecución de un programa de análisis de corrientes marinas durante la cual se puede aplicar la mejora.



Aceleración global  $A$  para diferentes valores de  $f$ .

1. Indique cuántas veces es más rápida la nueva unidad de disco respecto de la que se ha retirado del computador.
2. El computador, antes de hacer la actualización, tardaba 126 segundos en ejecutar la aplicación. Determine, en el mejor de los casos, cuál sería el tiempo de ejecución en el sistema actualizado. Justifique la respuesta.
3. Dibuje sobre la misma gráfica la curva que se obtendría si la nueva unidad de disco fuera 2 veces más rápida que la vieja.

SOLUCIÓN:

1. La nueva unidad de disco de 4 veces más rápida que la vieja.
2. El tiempo de ejecución, en el mejor de los casos, podría reducirse hasta los 31,5 segundos.
3. La nueva curva tendría una forma similar a la dibujada; partiría del mismo origen pero llegaría, en el extremo derecho, hasta una aceleración global de valor 2.



---

## TEMA 3

---

# Monitorización

**PROBLEMA 3.1** En un sistema Linux se ha ejecutado la orden `uptime` tres veces en momentos diferentes. El resultado, de forma resumida, es el siguiente:

```
... load average:  6.85,  7.37,  7.83
... load average:  8.50, 10.93,  8.61
... load average: 37.34,  9.47,  3.30
```

Indique si la carga crece, decrece, se mantiene estacionaria o bien no puede decidir sobre ello.

**SOLUCIÓN:** No se puede decidir sobre la evolución porque no hay una tendencia clara en los valores de las medidas.



---

**PROBLEMA 3.2** En un sistema Linux se ha ejecutado la siguiente orden:

```
$ time quicksort
real 0m40.2s
user 0m17.1s
sys  0m3.2s
```

Indique si el sistema está soportando mucha o poca carga. Razone la respuesta.

**SOLUCIÓN:** Se trata de un sistema con una carga considerable, ya que hay una notable diferencia entre el tiempo de respuesta que experimenta el usuario (parámetro real) y el tiempo que realmente tarda en ejecutarse su programa (suma de los parámetros user y sys).



**PROBLEMA 3.3** Considere las órdenes siguientes ejecutadas en un sistema Linux:

```
$ time simulador_original      $ time simulador_mejorado
real 0m24.2s                  real 0m32.8s
user 0m15.1s                  user 0m10.7s
sys  0m1.6s                   sys  0m2.1s
```

1. ¿Cuál es el tiempo de ejecución de ambos simuladores?
2. Calcule, si es el caso, la mejora en el tiempo de ejecución del simulador mejorado respecto del original.

SOLUCIÓN: El simulador original se ejecuta en 16,7 segundos y el mejorado en 12,8 segundos (en realidad, los datos muestran que al sistema le cuesta más tiempo porque ha de atender otras tareas). El simulador mejorado es 1,3 veces más rápido que el original.

■

**PROBLEMA 3.4** Se sabe que la sobrecarga (*overhead*) de un monitor software sobre un computador es del 4 %. Si el monitor se activa cada 2 segundos, ¿cuánto tiempo tarda el monitor en ejecutarse por cada activación?

SOLUCIÓN: El monitor tarda en ejecutarse 80 milisegundos por activación.

■

**PROBLEMA 3.5** El monitor *sar* (*system activity reporter*) de un computador se activa cada 15 minutos y tarda 750 ms en ejecutarse por cada activación. Se pide:

- Calcular la sobrecarga que genera este monitor sobre el sistema informático.
- Si la información generada en cada activación ocupa 8192 bytes, ¿cuántos ficheros históricos del tipo *saDD* se pueden almacenar en el directorio */var/log/sa* si se dispone únicamente de 200 MB de capacidad libre?

SOLUCIÓN: La sobrecarga es del 0,083 % y se pueden almacenar en total 266 ficheros históricos.

■

**PROBLEMA 3.6** El día 8 de octubre se ha ejecutado la siguiente orden en un sistema Linux:

```
% ls /var/log/sar
-rw-r--r-- 1 root root 3049952 Oct 6 23:50 sa06
-rw-r--r-- 1 root root 3049952 Oct 7 23:50 sa07
-rw-r--r-- 1 root root 2372320 Oct 8 18:40 sa08
```

¿Cada cuánto tiempo se activa el monitor *sar* instalado en el sistema? ¿Cuánto ocupa el registro de información almacenada cada vez que se activa el monitor?

SOLUCIÓN: El monitor se activa cada 10 minutos (la última activación del día se hace a las 23:50 horas). La información generada en cada activación ocupa aproximadamente 21 KB de capacidad.

■



**PROBLEMA 3.7** Indique el resultado que produce la ejecución de las siguientes órdenes sobre un sistema Linux con el monitor sar instalado:

1. `sar`
2. `sar -A`
3. `sar -u 1 30`
4. `sar -uB -f /var/log/sa/08`
5. `sar -d -s 12:30:00 -e 18:15:00 -f /var/log/sa/08`
6. `sadc`
7. `sadc 2 4`
8. `sadc 2 4 fichero`

**SOLUCIÓN:**

1. Utilización del procesador durante el día actual.
2. Toda la información recogida durante el día actual.
3. Utilización actual del procesador: 30 medidas tomadas con un período de un segundo.
4. Utilización del procesador y paginación de la memoria virtual durante el día 8 del mes.
5. Transferencias de disco desde las 12:30 hasta las 18:15 horas del día 8 del mes.
6. Información actual en formato binario recogida en una activación del monitor.
7. Información actual en formato binario recogida en dos activaciones separadas 4 segundos.
8. Información actual en formato binario recogida en dos activaciones separadas 4 segundos y depositadas en un fichero del disco de nombre fichero.



---

**PROBLEMA 3.8** Indíquese una orden (u órdenes) que se podría emplear para monitorizar los aspectos siguientes de la actividad en un computador que trabaja con el sistema operativo Linux:

1. Capacidad de memoria física ocupada por un proceso.
2. Número de cambios de contexto por segundo.
3. Carga media del sistema.
4. Número de interrupciones por segundo.
5. Capacidad libre de la unidad de disco magnético.
6. Usuarios conectados a la máquina.
7. Utilización del procesador en modo usuario.
8. Tiempo que lleva ejecutándose un proceso.
9. Tiempo que tarda un proceso en ejecutarse.

**SOLUCIÓN:**

1. Órdenes `top`, `ps`.
2. Órdenes `vmstat`, `sar`.
3. Órdenes `uptime`, `sar`.
4. Órdenes `vmstat`, `sar`.
5. Orden `df`.
6. Orden `who`.
7. Órdenes `top`, `vmstat`, `sar`.
8. Órdenes `top`, `ps`.
9. Orden `time`.



**PROBLEMA 3.9** Después de instrumentar un programa con la herramienta `gprof` el resultado obtenido ha sido el siguiente:

Flat profile:  
Each sample counts as 0.01 seconds.

| %<br>time | cumulative<br>seconds | self<br>seconds | calls | self<br>s/call | total<br>s/call | name     |
|-----------|-----------------------|-----------------|-------|----------------|-----------------|----------|
| 59.36     | 27.72                 | 27.72           | 3     | 9.24           | 14.39           | reduce   |
| 33.08     | 43.17                 | 15.45           | 6     | 2.57           | 2.57            | invierte |
| 7.56      | 46.70                 | 3.53            | 2     | 1.76           | 1.76            | calcula  |

El grafo de dependencias muestra que `invierte()` es llamado desde el procedimiento `reduce()`.

1. ¿Cuánto tarda en ejecutarse el código propio del procedimiento `reduce()`?
2. ¿Cuál es el procedimiento más lento del programa? ¿Y el más rápido?
3. Si el procedimiento más lento de todos se sustituye por otro tres veces más rápido, ¿cuánto tiempo tardará en ejecutarse el programa?
4. Si el procedimiento `invierte()` se sustituye por una nueva versión cuatro veces más rápida, ¿qué mejora se obtendrá en el tiempo de ejecución?
5. Calcule cuál es la aceleración máxima que se podría conseguir en el tiempo de ejecución mediante la optimización del código del procedimiento `invierte()`.

SOLUCIÓN:

1. El código propio de `reduce()` tarda 9,24 s.
2. El procedimiento más lento es `reduce()` y el más rápido es `calcula()`.
3. El programa se ejecutaría en 28,22 s.
4. El programa se ejecutaría 1,33 veces más rápidamente.
5. La máxima aceleración que se podría conseguir es 1,49.

■

**PROBLEMA 3.10** Considere la siguiente secuencia de órdenes en un sistema informático donde está instalado el monitor `sar`:

```
% sadc resultado
% ls -l resultado
-rw-r--r-- 1 usuario grupo 712 2006-01-16 10:55 resultado
```

2. Indique qué contiene el fichero `resultado` y cómo se codifica esta información.
3. ¿Qué orden habría que emplear para visualizar en formato ASCII toda la información capturada por el monitor de actividad en la activación anterior?
4. Si el monitor `sar` está instalado en la máquina para ejecutarse cada tres minutos y disponemos de 50 MB de espacio en el disco duro para almacenar la información de actividad, ¿cuántos ficheros históricos diarios podremos mantener en esta instalación?

## SOLUCIÓN:

1. El fichero contiene toda la información, en formato binario, recogida sobre la actividad del sistema por la activación del monitor mediante la orden sadc.
2. La orden es sar -A -f resultado.
3. Se pueden mantener 153 ficheros.



**PROBLEMA 3.11** La monitorización de un programa de dibujo en tres dimensiones mediante la herramienta gprof ha proporcionado la siguiente información (por errores en la transmisión hay valores que no están disponibles):

Flat profile:

| %<br>time | cumulative<br>seconds | self<br>seconds | calls | self<br>s/call | total<br>s/call | name      |
|-----------|-----------------------|-----------------|-------|----------------|-----------------|-----------|
| xxxxx     | xxxxx                 | 15.47           | 3     | 5.16           | 5.16            | colorea   |
| xxxxx     | xxxxx                 | 1.89            | 5     | 0.38           | 0.38            | interpola |
| xxxxx     | xxxxx                 | 1.76            | 1     | 1.76           | 3.65            | traza     |
| xxxxx     | xxxxx                 | 0.46            |       |                |                 | main      |

Call graph:

| index | % time | self  | children | called | name      |     |
|-------|--------|-------|----------|--------|-----------|-----|
| [1]   | 100.0  | 0.46  | 19.12    |        | main      | [1] |
|       |        | 15.47 | 0.00     | 3/3    | colorea   | [2] |
|       |        | 1.76  | 1.89     | 1/1    | traza     | [3] |
| ----- |        |       |          |        |           |     |
|       |        | 15.47 | 0.00     | 3/3    | main      | [1] |
| [2]   | 79.0   | 15.47 | 0.00     | 3      | colorea   | [2] |
| ----- |        |       |          |        |           |     |
|       |        | 1.76  | 1.89     | 1/1    | main      | [1] |
| [3]   | 18.6   | 1.76  | 1.89     | 1      | traza     | [3] |
|       |        | 1.89  | 0.00     | 5/5    | interpola | [4] |
| ----- |        |       |          |        |           |     |
|       |        | 1.89  | 0.00     | 5/5    | traza     | [3] |
| [4]   | 9.7    | 1.89  | 0.00     | 5      | interpola | [4] |
| ----- |        |       |          |        |           |     |

1. ¿En cuánto tiempo se ejecuta el programa de dibujo?
2. Indique cuánto tiempo tarda en ejecutarse el código propio de main().
3. Establezca la relación de llamadas entre los procedimientos del programa así como el número de veces que se ejecuta cada uno de ellos.
4. Calcule el nuevo tiempo de ejecución del programa si se elimina el código propio de main() y se reduce a la mitad el tiempo de ejecución del código propio del procedimiento traza().
5. Proponga y justifique numéricamente una acción sobre el programa original que no afecte el procedimiento colorea() (ni su código ni el número de veces que es ejecutado) con el fin de conseguir que el programa se ejecute en 10 segundos.

**SOLUCIÓN:**

1. El programa se ejecuta en 19,58 s.
2. El código propio de main() se ejecuta en 0,46 s.
3. El procedimiento main() llama 3 veces a colorear() y una vez a trazar(); a su vez, trazar() llama 5 veces a interpola().
4. El tiempo de ejecución sería de 18,24 s.
5. El tiempo de ejecución no se puede reducir a 10 segundos sin afectar el procedimiento colorear() porque su contribución ya sobrepasa este valor.

■

**PROBLEMA 3.12** Un informático desea evaluar el rendimiento de un computador por medio del benchmark SPEC CPU2006. Una vez compilados todos los programas del paquete y lanzado su ejecución monitoriza el sistema con la orden `vmstat 1 5`. El resultado de las medidas de este monitor es el siguiente:

| procs |   | memory----- |       |       |        | ---swap-- |    | -----io --- |    | ---system |    | -- ----cpu---- |    |    |    |
|-------|---|-------------|-------|-------|--------|-----------|----|-------------|----|-----------|----|----------------|----|----|----|
| r     | b | swpd        | free  | buff  | cache  | si        | so | bi          | bo | in        | cs | us             | sy | id | wa |
| 0     | 0 | 8           | 14916 | 92292 | 833828 | 0         | 0  | 0           | 3  | 0         | 7  | 3              | 1  | 96 | 0  |
| 1     | 0 | 8           | 14916 | 92292 | 833828 | 0         | 0  | 0           | 0  | 1022      | 40 | 100            | 0  | 0  | 0  |
| 3     | 0 | 8           | 14916 | 92292 | 833828 | 2         | 1  | 16          | 3  | 1016      | 34 | 99             | 1  | 0  | 0  |
| 1     | 0 | 8           | 14916 | 92292 | 833828 | 0         | 4  | 0           | 8  | 1035      | 36 | 98             | 2  | 0  | 0  |
| 2     | 0 | 8           | 14916 | 92292 | 833828 | 1         | 5  | 4           | 28 | 1035      | 36 | 99             | 1  | 0  | 0  |

Indique si, a la vista de los datos anteriores, los resultados obtenidos en la prueba evaluación serán correctos o no. Justifique la respuesta.

**SOLUCIÓN:** Los resultados serían incorrectos porque el sistema operativo presenta actividad de intercambio con el disco magnético (swapping).

■

**PROBLEMA 3.13** El resultado de la monitorización de una aplicación informática dedicada al análisis de modelos atmosféricos se muestra a continuación (nótese que hay información no disponible):

Flat profile:

| %     | cumulative | self    | self  | self   | total  |          |
|-------|------------|---------|-------|--------|--------|----------|
| time  | seconds    | seconds | calls | s/call | s/call | name     |
| xxxxx | xxxxx      | 30.16   | 52    | 0.58   | 0.58   | nimbo    |
| xxxxx | xxxxx      | 5.13    | 2     | 2.56   | 2.56   | borrasca |
| xxxxx | xxxxx      | 3.51    | 2     | 1.75   | 1.75   | lluvia   |
| xxxxx | xxxxx      | 1.76    | 1     | 1.76   | 34.17  | nube     |

1. Indique cuánto tiempo tarda en ejecutarse el programa.
2. Determine el porcentaje del tiempo de ejecución que consume el procedimiento lluvia().
3. ¿Cuál es el procedimiento más lento de todo el programa?
4. ¿Cuánto tiempo tarda en ejecutarse el código propio de borrasca()?
5. Calcule el nuevo tiempo de ejecución del programa si el procedimiento nimbo() se rediseña y mejora 3 veces.
6. Proponga y justifique numéricamente alguna manera de reducir el tiempo de ejecución del programa original hasta los 20 segundos.

**SOLUCIÓN:**

1. El programa se ejecuta en 40,56 s.
2. El procedimiento lluvia() es responsable del 8,7 % del tiempo de ejecución.
3. El procedimiento más lento del programa es nube().
4. El código propio de borrasca() se ejecuta en 2,56 s.
5. El nuevo tiempo de ejecución sería de 20,45 s.
6. Mejorando 4 veces el tiempo de ejecución del procedimiento nimbo() el tiempo total del programa se reduce hasta 17,94 s.



---

**PROBLEMA 3.14** Después de conectarse a un sistema informático, un usuario ejecuta las dos órdenes siguientes con el resultado que se muestra:

```
% uptime
 9:50am up 173 days, 23:02, 1 user, load average: 0.00, 0.00, 0.00

% time simulador
real 8m0.70s
user 3m5.20s
sys 0m4.01s
```

1. ¿En qué condición de carga se encuentra el computador (baja, media o alta) en el momento de conexión del usuario?
2. ¿Cuál es el tiempo (en segundos) de ejecución del programa simulador?
3. ¿Encuentra alguna incoherencia en los resultados anteriores? Justifique la respuesta con argumentos sólidos.

**SOLUCIÓN:**

1. El computador está en una situación de baja carga.
2. El computador ejecuta el simulador en 480,7 segundos, aunque el tiempo de ejecución efectivo del mismo es de 189,21 segundos.
3. En efecto, el hecho de que la carga sea baja (parámetros de load average a cero) está en contradicción con la espera de 291,49 segundos que experimenta la ejecución del simulador.



---

## TEMA 4

---

# Análisis comparativo del rendimiento (benchmarking)

**PROBLEMA 4.1** En un computador se ha llevado a cabo un estudio para determinar si el tipo de memoria principal es un factor importante en su rendimiento. Para ello se ha medido el tiempo de ejecución de seis programas con dos tipos de memoria: MA (más rápida y más cara) y MB (más lenta y más barata). Las medidas de los tiempos de ejecución (en segundos) de los programas son los siguientes:

| Programa | MA | MB |
|----------|----|----|
| lucho    | 45 | 48 |
| lupita   | 32 | 35 |
| lulila   | 51 | 56 |
| lurdo    | 43 | 49 |
| lutecio  | 48 | 51 |

Calcule si las diferencias observadas son significativas al 95% de confianza y, en caso afirmativo, determine la mejora conseguida en el rendimiento debido al uso del tipo de memoria más rápida.

**SOLUCIÓN:** Las diferencias son significativas. La memoria MA permite obtener una mejora del 9% en el rendimiento sobre MB.

**PROBLEMA 4.2** En la tabla siguiente se muestra el tiempo de ejecución (expresado en segundos) y el número de instrucciones ejecutadas en el computador Cleopatra para cinco programas distintos.

| Programa     | Tiempo (s) | Instrucciones ( $\times 10^6$ ) |
|--------------|------------|---------------------------------|
| asterix      | 68         | 125                             |
| obelix       | 132        | 340                             |
| panoramix    | 113        | 227                             |
| idefix       | 79         | 154                             |
| abraracurcix | 120        | 328                             |

1. Calcule el número medio de MIPS de este computador.
2. Determine el número medio de ciclos por instrucción (CPI) obtenidos por este computador. Considere para ello que las instrucciones ejecutadas por los tres primeros programas duran 3 ciclos, mientras que el resto lo hace en 5.

SOLUCIÓN:

1. El computador obtiene 2,29 MIPS
2. El número medio de CPI es 3,82.

■

**PROBLEMA 4.3** La tabla siguiente muestra el tipo y número de las operaciones de coma flotante ejecutadas por un programa de prueba en el computador MATES; la última columna representa el coste computacional en operaciones normalizadas.

| Operación    | Cantidad ( $\times 10^9$ ) | Operaciones normalizadas |
|--------------|----------------------------|--------------------------|
| add.s, sub.s | 456                        | 1                        |
| div.s, mul.s | 340                        | 3                        |
| sqrt.s       | 180                        | 12                       |
| sqrt.d       | 70                         | 15                       |
| log.d        | 30                         | 18                       |

Se sabe que el programa tarda una hora en ejecutarse. Indique el rendimiento de este computador mediante el uso de MFLOPS y MFLOPS normalizados. ¿Existe mucha diferencia entre ambos valores?

SOLUCIÓN: El programa obtiene 299 MFLOPS y 1452 MFLOPS normalizados.

■

**PROBLEMA 4.4** Considere la información (incompleta) obtenida por la orden siguiente en un computador sin más carga que la ejecución de esta orden:

```
$ time simulador
  real 0m125s
  user -----s
  sys 0m5s
```

Se sabe que el número de instrucciones ejecutadas es de  $32 \times 10^9$ ; de estas últimas, el 60 % se ejecuta en dos ciclos, mientras que el resto lo hace en cinco ciclos. Calcule el número medio de ciclos por instrucción (CPI) obtenidos por el programa, la frecuencia de funcionamiento del procesador y los MIPS alcanzados por el procesador.

SOLUCIÓN: El programa obtiene un CPI de 3,2 y 246,2 MIPS. La frecuencia del procesador es de 0,788 GHz.

■

**PROBLEMA 4.5** La tabla siguiente muestra los tiempos de ejecución en segundos de tres programas de prueba en tres máquinas A, B y C. Aplíquense al menos dos técnicas de análisis que permitan extraer conclusiones contradictorias respecto del rendimiento de las máquinas.

| Programa  | A   | B   | C   |
|-----------|-----|-----|-----|
| mafalda   | 185 | 164 | 126 |
| felipe    | 161 | 163 | 143 |
| miguelito | 182 | 110 | 295 |

SOLUCIÓN: La máquina más rápida es la B. Para obtener una conclusión diferente bastaría con calcular un promedio ponderado dando más peso a la máquina que se quisiera beneficiar o bien normalizando los valores respecto de esta misma máquina.

■

**PROBLEMA 4.6** La tabla que se muestra a continuación refleja los tiempos de ejecución, en segundos, de los 14 programas de prueba que integran un determinado benchmark empleado para el cálculo del rendimiento en aritmética de coma flotante. En particular, los tiempos corresponden a la máquina de referencia y a una máquina que denominaremos A (columnas “Base” y “Peak”, con el mismo significado que usa SPEC para sus comparaciones).

| Programa     | Referencia | A-Base | A-Peak |
|--------------|------------|--------|--------|
| 168.wupwise  | 1600       | 419    | 300    |
| 171.swim     | 3100       | 562    | 562    |
| 172.mgrid    | 1800       | 607    | 607    |
| 173.applu    | 2100       | 658    | 605    |
| 177.mesa     | 1400       | 273    | 242    |
| 178.galgel   | 2900       | 571    | 571    |
| 179.art      | 2600       | 1040   | 1038   |
| 183.quake    | 1300       | 501    | 387    |
| 187.facerec  | 1900       | 434    | 434    |
| 188.amp      | 2200       | 705    | 697    |
| 189.lucas    | 2000       | 784    | 758    |
| 191.fma3d    | 2100       | 534    | 534    |
| 200.sixtrack | 1100       | 395    | 336    |
| 301.apsi     | 2600       | 866    | 866    |

1. Calcúlense los índices SPECfp\_base y SPECfp de la máquina A según el criterio de SPEC.
2. Para la columna A-Base, si se considera el tiempo total de ejecución, ¿cuántas veces es más rápida la máquina A que la máquina de referencia?
3. ¿Qué mejora del rendimiento se obtiene utilizando las opciones de optimización que ofrece el compilador?

SOLUCIÓN:

1. SPECfp\_base = 3,48 y SPECfp = 3,74.
2. La máquina A es 3,44 veces más rápida que la de referencia.
3. La optimización del compilador permite mejorar 1,05 veces el tiempo de ejecución (un 5%).



**PROBLEMA 4.7** Considere los tiempos de ejecución obtenidos en los computadores R (referencia), A y B para un conjunto de cinco programas de prueba:

| Programa    | R    | A   | B   |
|-------------|------|-----|-----|
| tinky-winky | 2600 | 503 | 539 |
| dipsy       | 2100 | 654 | 762 |
| laa-laa     | 9800 | 798 | 607 |
| po          | 2300 | 748 | 760 |
| noo-noo     | 1800 | 363 | 255 |

1. Compare el rendimiento de A y B utilizando el tiempo total de ejecución.
2. Calcule, a la manera de SPEC, un índice de rendimiento para A y B, y compare el rendimiento de ambas máquinas con este índice. ¿Obtiene los mismos resultados que en el apartado anterior?

SOLUCIÓN:

1. La máquina B es 1,05 veces más rápida que A.



2. Los índices calculados a la manera de SPEC para las máquinas A y B son, respectivamente, 5,00 y 5,40; en consecuencia, la mejora en este índice de la máquina B es de 1,08. ■

**PROBLEMA 4.8** La siguiente tabla muestra los tiempos de ejecución expresados en minutos de una serie de programas de prueba en dos sistemas informáticos SI1 y SI2. La última columna muestra el número de instrucciones ejecutadas por cada programa.

| Programa      | SI1 | SI2 | Instrucciones         |
|---------------|-----|-----|-----------------------|
| charlie brown | 35  | 70  | $3,55 \times 10^8$    |
| lucy          | 101 | 78  | $7,78 \times 10^{13}$ |
| linus         | 57  | 55  | $9,12 \times 10^7$    |
| patty         | 76  | 83  | $2,94 \times 10^{10}$ |

- Suponiendo que todos los programas tienen la misma importancia en este estudio de evaluación, compárense las prestaciones de estos dos sistemas según:
  - Media aritmética de los tiempos de ejecución.
  - MIPS (millones de instrucciones ejecutadas por segundo).
- Repítase la primera parte del estudio suponiendo que los pesos atribuidos a cada programa de prueba son, respectivamente: 0,5, 0,1, 0,1, y 0,3.

SOLUCIÓN:

- El sistema SI1 es 1,06 más rápido que SI2 atendiendo al tiempo de ejecución. Los MIPS obtenidos por ambos sistemas son, respectivamente, 4822,2 y 4535,5.
- En este nuevo escenario el sistema SI2 es 1,3 veces más rápido que SI1 atendiendo al tiempo de ejecución. ■

**PROBLEMA 4.9** A continuación se muestran los resultados obtenidos tras la ejecución de tres programas de prueba en un computador que dispone de un procesador con un reloj de 2 GHz:

| Programa | Instrucciones     | Ciclos por instrucción | Operaciones coma flotante |
|----------|-------------------|------------------------|---------------------------|
| 1        | $150 \times 10^9$ | 3,5                    | $50 \times 10^6$          |
| 2        | $35 \times 10^9$  | 2,8                    | $20 \times 10^6$          |
| 3        | $250 \times 10^9$ | 5,2                    | $175 \times 10^6$         |

Indique, a partir de datos anteriores, los siguientes índices de prestaciones de este computador: MIPS, MFLOPS y CPI.

SOLUCIÓN: 452,42 MIPS, 0,25 MFLOPS y 4,4 CPI. ■

**PROBLEMA 4.10** La página oficial de SPEC muestra los siguientes resultados de rendimiento para dos sistemas informáticos de la casa comercial ACER obtenidos mediante el conocido benchmark CPU2006:

| Sistema | Modelo                        | SPECint_base2006 | SPECint2006 |
|---------|-------------------------------|------------------|-------------|
| A       | Altos G5350 (AMD Opteron 246) | 13,47            | 14,38       |
| B       | Altos G5350 (AMD Opteron 254) | 17,88            | 19,18       |

1. ¿Cuál de los dos sistemas presenta mejor rendimiento? Cuantifique numéricamente la mejora.
2. A la vista de los resultados anteriores, ¿afecta al rendimiento de ambos sistemas la optimización llevada a cabo por el compilador en las pruebas de evaluación?
3. ¿En qué medida se reflejará en los resultados anteriores una mejora importante en la unidad de coma flotante (FPU, floating point unit) del procesador?
4. ¿Cuál de los dos sistemas ejecutará el benchmark whetstone más rápidamente?

#### SOLUCIÓN:

1. El sistema B obtiene un mayor rendimiento. En particular, las mejoras sobre el sistema A en los índices SPECint\_base y SPECint son, respectivamente, 1,33 y 1,33 (se obtiene la misma ganancia en ambos casos).
2. La optimización de la compilación permite obtener una mejora, en ambos casos, de 1,07.
3. En teoría no afectará porque los índices mostrados afectan únicamente a la aritmética entera.
4. No se puede saber porque este benchmark es de aritmética en coma flotante.

■

**PROBLEMA 4.11** Responda brevemente a las siguientes cuestiones sobre el benchmark CPU2006 que ha desarrollado el consorcio SPEC:

1. ¿Qué componentes del sistema informático evalúa?
2. ¿Cuáles son los lenguajes en que están programados los diferentes programas que lo integran?
3. ¿Cuál es la diferencia entre los índices SPECint2006 y SPECint\_base2006?
4. Indique cómo se calcula el índice SPECfp2006. El método de cálculo empleado, ¿satisface todas las exigencias de un buen índice de prestaciones? Razone la respuesta.

#### SOLUCIÓN:

1. El procesador, el sistema de memoria y el compilador.
2. C, C++ y Fortran.
3. El primero se obtiene con los programas compilados, cada uno de ellos, con parámetros que optimizan la ejecución del código en la máquina que se evalúa con el objetivo de conseguir el menor tiempo de ejecución posible (rendimiento pico). El segundo utiliza opciones de compilación genéricas y comunes a todos los programas.
4. Se usa la media geométrica de los ratios obtenidos dividiendo los tiempos de ejecución en la máquina de referencia y en la máquina que se evalúa. Este método de cálculo no satisface las exigencias de un buen índice de prestaciones ya que no refleja de manera correcta la comparación basada en los tiempos de ejecución.

■

**PROBLEMA 4.12** Una empresa de seguros está estudiando dos propuestas con el objetivo de actualizar los computadores personales de su instalación informática. El precio de cada computador es de 1300€ y 1450€, para la propuesta A y B, respectivamente. Se estima que el número de computadores a reemplazar es de 75.

Los responsables informáticos de la empresa han ejecutado los ocho programas que utilizan habitualmente en un computador de cada propuesta, y han obtenido los tiempos de ejecución, expresados en segundos, que se muestran a continuación:

| Programa | Modelo A | Modelo B |
|----------|----------|----------|
| 1        | 23,6     | 24,0     |
| 2        | 33,7     | 41,6     |
| 3        | 10,1     | 8,7      |
| 4        | 12,9     | 13,5     |
| 5        | 67,8     | 66,4     |
| 6        | 9,3      | 15,2     |
| 7        | 47,4     | 50,5     |
| 8        | 54,9     | 52,3     |

Determinése si existen diferencias significativas en el rendimiento de los computadores personales de las dos propuestas y qué opción sería mejor.

**SOLUCIÓN:** El intervalo de confianza es  $[-4,696, 1,576]$ . Como este intervalo incluye el 0 podemos afirmar que las diferencias observadas en los tiempos de ejecución no son significativas. En consecuencia, la mejor opción para actualizar los computadores de la empresa es la opción A, ya que resulta menos costosa. En particular, la propuesta B resulta  $1450€/1300€ = 1,112$  veces más cara que la A.

■

**PROBLEMA 4.13** A continuación se muestran los tiempos de ejecución (en segundos) medidos en tres computadores, A, B y R, para un conjunto de cinco programas de prueba:

| Programa | A    | B    | R     |
|----------|------|------|-------|
| 1        | 96,2 | 95,3 | 103,9 |
| 2        | 13,1 | 10,2 | 53,8  |
| 3        | 79,6 | 67,4 | 156,3 |
| 4        | 45,2 | 51,8 | 98,1  |
| 5        | 88,3 | 89,3 | 238,5 |

Calcúlese el índice de prestaciones de las máquinas A y B según se hace en el benchmark SPEC\_CPU, tomando como referencia la máquina R. Compárese el rendimiento de estas máquinas atendiendo tanto a este índice como al tiempo total de ejecución. ¿Hay diferencias significativas con un grado de confianza del 95%?

**SOLUCIÓN:** La media geométrica de los tiempos de ejecución normalizados respecto de la máquina R son 2,20 y 2,32 para A y B respectivamente. En cualquier caso, estos datos permiten concluir que B rinde 1,06 veces más que A. En cambio la suma de los tiempos de ejecución son 322,4s y 314,0s respectivamente, lo que rebaja la mejora conseguida a 1,03. Respecto a las diferencias, éstas no son significativas al 0.05 de significatividad porque el intervalo de confianza incluye el 0.

■

**PROBLEMA 4.14** En la empresa SERENDIPITY S.L. están intentando mejorar el servidor web que alberga las páginas de la Universidad de Granada. Para ello, han ejecutado un conocido benchmark de servidores web para 5 configuraciones distintas de distintas del S.O. actualmente en uso. Como la fuente de variabilidad es alta debido a que las pruebas han tenido que realizarlas en el equipo ya actualmente en uso (se ha elegido el intervalo entre las 4 y las 5 de la mañana en días sucesivos) los experimentos se han realizado 10 veces. Los resultados del número medio de páginas servidas por segundo son los que aparecen a continuación:

| Exp. | Conf. 1 | Conf. 2 | Conf. 3 | Conf. 4 | Conf. 5 |
|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1    | 15,2    | 15,5    | 17,8    | 16,2    | 17,8    |
| 2    | 16,2    | 15,2    | 18,5    | 15,7    | 17,9    |
| 3    | 16,5    | 16,3    | 17,9    | 15,3    | 18,1    |
| 4    | 15,9    | 16,2    | 18,9    | 15,8    | 18,2    |
| 5    | 14,8    | 15,4    | 18,5    | 16,2    | 18,9    |
| 6    | 15,2    | 15,2    | 18,1    | 15,8    | 18,3    |
| 7    | 15,6    | 15,8    | 19,5    | 15,2    | 18,8    |
| 8    | 16,0    | 16,0    | 18,5    | 14,9    | 17,8    |
| 9    | 16,3    | 15,2    | 19,4    | 14,9    | 18,2    |
| 10   | 15,3    | 15,5    | 19,7    | 15,0    | 18,1    |

- Si atendiéramos exclusivamente a la media aritmética de los resultados, ¿qué configuración parecería la mejor?
- Para un nivel de confianza del 95%, ¿afecta la configuración del S.O. al rendimiento del equipo?
- Para un nivel de confianza del 95%, agrupe las configuraciones que afectan estadísticamente por igual. ¿Cuáles serían, en ese caso, las mejores configuraciones? ¿Y para un nivel de confianza del 99%? Explique razonadamente los resultados.

SOLUCIÓN: a) La mejor configuración sería la número 3 con una media de 18,68 páginas servidas por segundo. b) Tras un análisis de ANOVA de 1 factor, el valor de F experimental es de 90,7, con una probabilidad mucho menor de 0.05 de que pertenezca a una distribución F con 4 y 45 grados de libertad. Por tanto, debemos descartar que el S.O. no tenga influencia sobre el rendimiento del servidor web --> sí afecta. c) Al 95%, un test múltiple de comparación de medias nos indica que las configuraciones 1, 2 y 4 afectan de igual forma al rendimiento. Igualmente, nos indica que las configuraciones 3 y 5 afectan de forma diferente, siendo la número 3 la mejor, seguida por la número 5. Si quisiéramos tener un 99% de confianza, sin embargo, no podríamos descartar que las configuraciones 3 y 5 afecten de forma diferente. En ese caso, ambas serían igualmente las mejores.

■

---

## TEMA 5

---

# Análisis operacional en servidores

**PROBLEMA 5.1** Un servidor dedicado a la reserva de billetes de una compañía de ferrocarriles tiene un tiempo medio de respuesta de 15 milisegundos por petición. Si por término medio hay 345 peticiones activas en este sistema, ¿cuál es su productividad? Expresa el resultado en peticiones por segundo.

SOLUCIÓN: La productividad del sistema es de 23000 peticiones por segundo.

■

---

**PROBLEMA 5.2** Un servidor de correo electrónico es capaz de enviar 300 correos por segundo. Si cada correo tarda en procesarse 2 milisegundos, ¿cuál es la utilización media de este servidor?

SOLUCIÓN: La utilización es 0,6.

■

---

**PROBLEMA 5.3** El servidor web de una compañía comercial ha servido 120 peticiones durante el último minuto. Si el número medio de peticiones activas ha sido de 5, calcule el tiempo medio de respuesta experimentado por una petición al servidor web.

SOLUCIÓN: El tiempo medio de respuesta es de 2,5 segundos.

■

---

**PROBLEMA 5.4** El computador de una empresa conservera se utiliza de manera interactiva por los 45 empleados que tiene en plantilla. Si el tiempo medio de reflexión es de 17 segundos y su productividad de 2,5 peticiones por segundo, ¿cuál es el tiempo medio de respuesta de cada interacción?

SOLUCIÓN: El tiempo medio de respuesta de cada interacción es de 1 segundo.

■

---

**PROBLEMA 5.5** Durante una sesión de medida de media hora un monitor software ha extraído las siguientes variables operacionales básicas de un servidor web:

| Variable        | Valor          |
|-----------------|----------------|
| A (arrivals)    | 364 peticiones |
| C (completions) | 359 peticiones |
| B (busy time)   | 23 minutos     |

A partir de la información anterior calcule las siguientes variables operacionales deducidas del servidor web: tasa de llegada, productividad, utilización y tiempo medio de servicio. No olvide expresar las unidades de cada variable.

SOLUCIÓN:  $\lambda = 12,13$  peticiones/minuto,  $X = 11,97$  peticiones/minuto,  $U = 0,77$  y  $S = 3,84$  segundos/petición. ■

**PROBLEMA 5.6** El sistema informático dedicado a la atención al cliente de una empresa de comestibles se puede modelar mediante una red de colas abierta con un procesador y dos unidades de disco. El comportamiento de cada petición se asemeja al modelo de servidor central. Se sabe que los tiempos de respuesta (expresados en milisegundos) y las razones de visita de estas estaciones son los siguientes:

| Estación   | $V_i$ | $R_i$ |
|------------|-------|-------|
| Procesador | 7     | 4,3   |
| Disco 1    | 2     | 1,5   |
| Disco 2    | 4     | 2,3   |

Determine el tiempo medio de respuesta de una petición a este sistema informático. Si el número medio de peticiones activas en el sistema es 80, ¿cuál es la tasa de llegadas que soporta?

SOLUCIÓN: El tiempo de respuesta del sistema es 42,3 ms y la tasa de llegadas es 1,89 peticiones/ms. ■

**PROBLEMA 5.7** El subsistema de disco de un servidor dedicado a comercio electrónico se ha monitorizado durante 120 segundos. El monitor ha permitido saber que, de este tiempo, el subsistema ha estado activo durante 78 segundos; además, se han producido 84 peticiones de acceso, de las cuales se han servido 82. Según esta información determine:

1. Error cometido al suponer que se cumple la hipótesis del flujo equilibrado de trabajos, la productividad del subsistema de disco y la utilización del subsistema de disco.

Por otro lado, se sabe que cada interacción con el servidor provoca un número medio de 5 visitas al subsistema de disco y que el número medio de peticiones activas en el servidor es de 13. A partir de estos datos calcule:

2. La productividad del servidor y el tiempo medio de respuesta de una interacción con el servidor.

SOLUCIÓN:

1. Respecto del subsistema de disco: el error es del 2,4 %, la productividad es 0,68 peticiones/segundo y la utilización 0,65.
2. Respecto del servidor: la productividad es 0,137 peticiones/segundo y el tiempo medio de respuesta 95,1 segundos.

**PROBLEMA 5.8** El sitio web de una empresa dedicada a productos de deporte recibe una media de 450 visitas por minuto. De todas estas visitas únicamente el 20% hace un pedido de material en firme. Cada uno de estos pedidos se procesa en el servidor mediante un script escrito en PHP y provoca, por término medio, una demanda de procesador de 0,6 segundos.

1. Calcule la utilización media del procesador debida al procesamiento de pedidos.
2. ¿Cuál sería la nueva utilización del procesador si un nuevo diseño del programa PHP permite mejorar su tiempo de ejecución 2,5 veces?

SOLUCIÓN: La utilización del procesador es 0,9. Con la mejora introducida la nueva utilización es de 0,36. ■

**PROBLEMA 5.9** Un servidor web recibe, por término medio, 4 peticiones por segundo. El comportamiento de las peticiones se asemeja al modelo del servidor central. Los tiempos de servicio y de respuesta (expresados en segundos), así como las razones de visita a los dispositivos de este sistema se indican en la siguiente tabla:

| Dispositivo    | $V_i$ | $S_i$ | $R_i$  |
|----------------|-------|-------|--------|
| Procesador (1) | 8     | 0,01  | 0,0147 |
| Disco (2)      | 4     | 0,04  | 0,1111 |
| Disco (3)      | 3     | 0,03  | 0,0469 |

A partir de la información anterior determine:

1. La demanda de servicio de cada dispositivo ( $D_i$ ).
2. El tiempo de respuesta del servidor web ( $R_0$ ).
3. El número medio de peticiones en el servidor web ( $N_0$ ).
4. La productividad de cada dispositivo ( $X_i$ ).
5. La utilización de cada dispositivo ( $U_i$ ).

SOLUCIÓN:

1.  $D_1 = 0,08$ ,  $D_2 = 0,16$ ,  $D_3 = 0,09$  (expresados en segundos o, más concretamente, segundos/petición).
2.  $R_0 = 0,7027$  segundos.
3.  $N_0 = 2,8108$  peticiones.
4.  $X_1 = 32$ ,  $X_2 = 16$ ,  $X_3 = 12$  (expresados en peticiones/s).
5.  $U_1 = 0,32$ ,  $U_2 = 0,64$ ,  $U_3 = 0,36$ . ■

**PROBLEMA 5.10** Se sabe que la productividad máxima de un sistema informático es de 25 peticiones por segundo. Un monitor software instalado en el mismo ha permitido conocer que la demanda de servicio del procesador es de 0,02 segundos; sin embargo, un problema de compatibilidad binaria ha impedido medir la demanda de servicio del disco, el cual parece estar dando problemas de congestión. ¿Podría indicar cuánto vale esta demanda?

SOLUCIÓN: La demanda de servicio del disco es 0,04 segundos/petición por ser éste el cuello de botella. ■

**PROBLEMA 5.11** Consideremos un sistema informático interactivo con un procesador y tres unidades de disco. Los tiempos de servicio y razones de visita de estos dispositivos se muestran en la siguiente tabla:

| Dispositivo    | Razón de visita | Tiempo de servicio (s) |
|----------------|-----------------|------------------------|
| Procesador (1) | 7               | 0,1                    |
| Disco (2)      | 3               | 0,025                  |
| Disco (3)      | 1               | 0,050                  |
| Disco (4)      | 2               | 0,035                  |

Los trabajos que sirve el sistema siguen el modelo de comportamiento del servido central. El número de usuarios conectados es de 10 y su tiempo medio de reflexión de 6 segundos.

1. Calcúlense las demandas de servicio de cada dispositivo.
2. Si la productividad del sistema informático es de 1,1970 trabajos por segundo, ¿cuál es el número medio de trabajos que están en reflexión?
3. ¿Cuántos trabajos activos hay en el sistema?
4. ¿Cuál es el tiempo de respuesta del sistema informático?
5. Calcúlense, para cada dispositivo del sistema, la productividad y la utilización.

**SOLUCIÓN:**

1.  $D_1 = 0,7$ ,  $D_2 = 0,075$ ,  $D_3 = 0,05$ ,  $D_4 = 0,07$  (expresados en segundos o segundos/trabajo).
2. Hay 7,182 usuarios en reflexión.
3. En el sistema hay 2,818 trabajos activos.
4. El tiempo medio de respuesta es 2,35 segundos.
5. Productividades:  $X_1 = 8,379$ ,  $X_2 = 3,591$ ,  $X_3 = 1,197$ ,  $X_4 = 2,394$  (expresados en trabajos/s).  
Utilizaciones:  $U_1 = 0,8379$ ,  $U_2 = 0,09$ ,  $U_3 = 0,06$ ,  $U_4 = 0,08$ .

■

**PROBLEMA 5.12** Los parámetros del modelo de un sistema informático transaccional (red abierta) son los siguientes (los tiempos se expresan en milisegundos):

| Dispositivo    | Si  | Vi |
|----------------|-----|----|
| Procesador (1) | 0,4 | 9  |
| Disco (2)      | 0,5 | 8  |

La tasa de llegadas al sistema es de 0,15 transacciones por milisegundo.

1. Identifique el cuello de botella del sistema.
2. ¿Cuál es la utilización del cuello de botella?
3. Calcule la productividad máxima del sistema.
4. Determine el tiempo mínimo de respuesta de una transacción.

**SOLUCIÓN:** El cuello de botella del sistema es el disco y su utilización es 0,6. La productividad máxima del sistema es 0,25 transacciones/ms y el tiempo mínimo de respuesta de una transacción es 7,6 ms. ■



**PROBLEMA 5.13** Considere la siguiente parametrización del modelo de un sistema informático interactivo con 25 usuarios y un tiempo medio de reflexión de 6 segundos (los tiempos de la tabla se expresan en segundos):

| Dispositivo    | $S_i$ | $V_i$ |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,5   | 4     |
| Cinta (2)      | 0,75  | 3     |

1. Identifique el cuello de botella.
2. Determine el tiempo mínimo de respuesta del sistema.
3. ¿Cuál es el punto teórico de saturación? A la vista de su valor, ¿el sistema se encuentra sometido a baja o alta carga?
4. Indique las ecuaciones de las asíntotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad.
5. Calcule el tiempo medio de respuesta del sistema.

SOLUCIÓN:

1. El cuello de botella es la cinta.
2. El tiempo mínimo de respuesta es 4,25 segundos.
3. El punto teórico de saturación es  $N_T^* = 5$ . Por lo tanto, el sistema está en un régimen de alta carga.
4. Las asíntotas son  $R_0^{\min} = \max\{4,25, 2,25 \times N_T - 6\}$  y  $X_0^{\max} = \min\{N_T/10,25, 0,44\}$ .
5. El tiempo medio de respuesta del sistema es 50,6 s.

■

**PROBLEMA 5.14** Considere la siguiente información referida al modelo de un sistema informático donde los tiempos se expresan en milisegundos:

| Dispositivo    | $S_i$ | $V_i$ |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,5   | 29    |
| Disco (2)      | 0,3   | 13    |
| Disco (3)      | 2,4   | 15    |

El sistema recibe una media de 18 peticiones por segundo durante el mediodía, que corresponde al segmento de horario con mayor actividad. Calcule:

1. El tiempo mínimo de respuesta de una petición.
2. El tiempo medio de respuesta de cada estación.
3. El tiempo medio de respuesta del sistema.
4. La mejora obtenida en el tiempo medio de respuesta del sistema si se substituye el disco más lento por uno idéntico al rápido.

SOLUCIÓN:

1. El tiempo mínimo de respuesta es 54,4 ms.
2.  $R_1 = 0,68$ ,  $R_2 = 0,32$ ,  $R_3 = 6,82$  (expresado en ms).
3. El tiempo medio de respuesta del sistema es  $R_0 = 126,1$  ms.
4. El tiempo medio de respuesta mejora 4,39 veces.

■

**PROBLEMA 5.15** El equipo de informáticos de una gran empresa tiene dos alternativas para implementar el subsistema de discos de la base de datos a la que se accede a través de una página web: un único disco con tiempo de servicio de 0,03 segundos, o tres discos idénticos con tiempo de servicio de 0,09 segundos. Cada petición recibida en el servidor web provoca 36 visitas al subsistema de discos. Determine y justifique numéricamente qué opción de las dos anteriores conseguirá mayor productividad. Nota: suponga que el sistema de discos es el dispositivo cuello de botella y que, en el segundo caso, las visitas se reparten equitativamente entre los tres discos.

**SOLUCIÓN:** Si en los dos casos el sistema de discos es el cuello de botella, la productividad máxima del sistema viene determinada por la inversa de la demanda de servicio de este dispositivo. En el primer caso la demanda del disco es  $36 \times 0,03 = 1,08$  segundos; en el segundo, la demanda de cualquiera de los tres discos es  $12 \times 0,09 = 1,08$  segundos. Por tanto, las dos opciones ofrecen la misma productividad máxima. ■

---

**PROBLEMA 5.16** Considere que en el supuesto del problema anterior el procesador del servidor web tiene un tiempo de servicio de 0,01 segundos y una razón de visita de 37. Si el servidor web recibe una media de 0,5 peticiones por segundo determine, para cada configuración del sistema de discos, la siguiente información sobre las prestaciones del servidor web:

1. Cuello de botella.
2. Productividad máxima.
3. Tiempo mínimo de respuesta.
4. Tiempo medio de respuesta.

Atendiendo al tiempo medio de respuesta, ¿cuál es la mejor opción? ¿Qué mejora se consigue?

**SOLUCIÓN:**

1. En el primer caso el cuello de botella es el disco. La productividad máxima es 0,926 peticiones por segundo. El tiempo mínimo de respuesta es 1,45 s, y su valor medio es 2,8 s.
2. En el segundo caso los tres discos actúan como cuellos de botella. La productividad máxima tiene el mismo valor que el caso anterior.
3. El tiempo mínimo de respuesta es 3,61 s,
4. y su valor medio es 7,5 s.

Atendiendo al tiempo de respuesta es preferible disponer de un único disco tres veces más rápido que tres discos lentos; la mejora conseguida en este índice es 2,7. ■

---

**PROBLEMA 5.17** Un sistema interactivo con 30 usuarios y un tiempo medio de reflexión de 12 segundos se modela mediante los siguientes parámetros (los tiempos se expresan en segundos):

| Dispositivo    | $S_i$ | $V_i$ |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,01  | 11    |
| Disco (2)      | 0,05  | 3     |
| Disco (3)      | 0,08  | 7     |

Determine:

1. El cuello de botella del sistema.
2. La productividad máxima y el punto teórico de saturación.
3. Las asíntotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad.
4. Número medio de trabajos en reflexión.
5. Calcule la mejora obtenida en el tiempo medio de respuesta si se equilibran las demandas de servicio de los dos discos.

SOLUCIÓN:

1. El cuello de botella es el segundo disco (dispositivo número 3).
2. La productividad máxima es 1,79 peticiones/s y  $N_T^* = 23$  usuarios.
3. Las asíntotas son  $R_0^{\min} = \max\{0,82, 0,56 \times NT - 12\}$  y  $X_0^{\max} = \min\{NT/12,82, 1,79\}$ .
4. 20.98 trabajos.
5. Para equilibrar las demandas de servicio de los discos hacemos  $V_2 = 6,1$  y  $V_3 = 3,9$ . La mejora en el tiempo medio de respuesta es 2,9.

■

**PROBLEMA 5.18** Las asíntotas optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad de un sistema informático interactivo son:

$$R_0^{\min} = \max\{0.49, 0.22 \times N_T - 5\}$$

$$X_0^{\max} = \min\left\{\frac{N_T}{5.49}, 4.55\right\}$$

Considere que el tiempo se expresa en segundos. A partir de la información anterior indique:

1. Tiempo de reflexión.
2. Tiempo mínimo de respuesta.
3. Punto teórico de saturación.
4. ¿Cuál es el tiempo medio de respuesta que se podría esperar con 100 usuarios? Justifique la respuesta.
5. Si hubiera 18 usuarios en el sistema, ¿sería posible obtener un tiempo de respuesta de 0,35 segundos? ¿Por qué?

SOLUCIÓN:

1. El tiempo de reflexión es  $Z = 5$  segundos.
2. El tiempo mínimo de respuesta es 0,49 segundos.
3. El punto teórico de saturación es  $N_T^* = 25$  usuarios.
4. El tiempo medio de respuesta esperable es de poco más de 17 segundos.
5. No, porque la asíntota optimista para este número de usuarios está situada en los 0,49 segundos.

■

**PROBLEMA 5.19** Considere el sistema informático por lotes ( $Z = 0$ ) con 15 trabajos modelado con los siguientes parámetros (los tiempos se expresan en segundos):

| Dispositivo    | $S_i$ | $V_i$ |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,016 | 5     |
| Disco (2)      | 0,02  | 4     |

Justifique numéricamente qué opción de las dos que se indican representa la mejor elección para mejorar el rendimiento del sistema: substituir el procesador por uno dos veces más rápido o substituir el disco por otro con un tiempo medio de servicio de 0,01 milisegundos.

SOLUCIÓN: Ambas opciones sobre el sistema ofrecen el mismo grado de mejora en el tiempo medio de respuesta del sistema. Se trata de un sistema equilibrado (todas los dispositivos tienen la misma demanda de servicio). ■

**PROBLEMA 5.20** Considere un servidor web que recibe una media de 0,3 peticiones por segundo y es modelado con los siguientes parámetros (los tiempos de la tabla se expresan en segundos):

| Dispositivo    | $S_i$ | $V_i$ |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,2   | 15    |
| Disco (2)      | 0,07  | 6     |
| Disco (3)      | 0,02  | 8     |

Después de apurar su copa de vino, una informática avezada en temas de modelado y evaluación de rendimiento hace estas confesiones a sus compañeros de cena respecto del modelo anterior:

1. Si se substituye el procesador por uno dos veces y media más rápido, el tiempo medio de respuesta del servidor web mejora más del 1100 %.
2. Si se equilibra la demanda de servicio de los dos discos, entonces el tiempo medio de respuesta del servidor web mejora un 0,6 %.

¿Ha afectado la ingesta de alcohol la mente despierta de nuestra protagonista? Justifique numéricamente la respuesta.

SOLUCIÓN: Las dos predicciones son correctas. En el primer caso la mejora obtenida es 12,14 y en el segundo es 1,006. ■

**PROBLEMA 5.21** Los usuarios de un sitio web de un afamado grupo de música se han quejado formalmente al administrador (*webmaster*) debido a los altos tiempos de respuesta que experimentan; incluso, afirman, a veces el servidor se muestra incapaz de responder a las peticiones y no tienen más remedio que cerrar el navegador. El administrador aduce en su defensa que, tras analizar los datos ofrecidos por su monitor de actividad preferido, la demanda de servicio del cuello de botella es solo de 4 segundos. Por tanto, afirma, el sistema puede admitir hasta 20 peticiones por minuto, valor suficiente para atender a todos los usuarios del sitio; el problema, añade, está en la configuración de los navegadores de los usuarios. ¿Tiene base científica la afirmación del administrador? Justifique la respuesta.

SOLUCIÓN: El administrador no tiene razón porque la productividad máxima que soporta el sitio web es de 15 peticiones por minuto. ■

**PROBLEMA 5.22** El informático responsable de la instalación de una empresa dedicada a la venta de billetes de avión de bajo coste ha modelado el servidor web que atiende a los clientes utilizando técnicas del análisis operacional. Este modelo comprende el procesador y dos discos; los parámetros relevantes del mismo se muestran a continuación:

| Dispositivo    | Tiempo de servicio (s) | Razón de visita |
|----------------|------------------------|-----------------|
| Procesador (1) | 0,01                   | 9               |
| Disco (2)      | 0,02                   | 4               |
| Disco (3)      | 0,02                   | 4               |

En las horas de máxima actividad el sitio web ha llegado a recibir una media de 11 peticiones por segundo. Responda a las siguientes cuestiones justificando numéricamente la respuesta.

1. Desde el punto de vista del reparto de la carga entre los componentes del servidor web, ¿estamos ante un sistema equilibrado?
2. Indique si el sistema está sometido a alta o baja carga.
3. ¿Cuál es el tiempo mínimo de respuesta de este servidor web?
4. ¿Podríamos aumentar la productividad máxima (capacidad) del sistema si sustituimos ambos discos por versiones más rápidas?
5. Determine el tiempo medio de respuesta del sistema.
6. ¿Cambiaría la localización del cuello de botella si la tasa de llegadas bajara hasta las 5 peticiones por segundo?
7. Dibuje una gráfica en la que se represente la evolución del tiempo medio de respuesta del sistema en función de la tasa de llegada de trabajos. Indique los puntos más representativos de la curva.

SOLUCIÓN:

1. El sistema está cerca del equilibrio porque las demandas son parecidas:  $D_1 = 0,09$  y  $D_2 = D_3 = 0,08$  segundos/petición.
2. La carga del sistema es elevada porque el cuello de botella está cerca de la saturación.
3. El tiempo mínimo de respuesta es 0,25 segundos.
4. No porque el cuello de botella es el procesador.
5. El tiempo medio de respuesta es 10,3 segundos.
6. No porque la disminución de la carga afecta a todo el sistema, no solamente al cuello de botella.

■

**PROBLEMA 5.23** El sistema informático de una empresa, al que se conectan unos 32 usuarios de media, parece que tiene problemas para soportar la carga actual. El administrador ha calculado los siguientes límites optimistas del tiempo de respuesta y de la productividad:

$$R_0^{min} = \max\{1.6, \quad 1.1 \times N_T - 4\}$$

$$X_0^{max} = \min\left\{\frac{N_T}{5.6}, \quad 0.91\right\}$$

1. El sistema, ¿está realmente soportando una carga elevada?
2. Haga una estimación del tiempo medio de respuesta del sistema en las condiciones actuales

SOLUCIÓN:

1. La carga es elevada porque el punto teórico de saturación está situado en los 6 usuarios y en el sistema hay 32 usuarios conectados.
2. El tiempo medio de respuesta del sistema estará situado ligeramente por encima de los 31,2 segundos (parte derecha de la asíntota).

■

**PROBLEMA 5.24** El proceso de modelado de un sistema informático mediante técnicas de análisis operacional ha dado los siguientes parámetros:

| Dispositivo    | Tiempo de servicio (s) | Razón de visita |
|----------------|------------------------|-----------------|
| Procesador (1) | 0,15                   | 6               |
| Disco (2)      | 0,05                   | 5               |

El sistema recibe una media de 1,05 peticiones por segundo. Responda a las siguientes cuestiones justificando numéricamente la respuesta.

1. Indique si el sistema está sometido a alta o baja carga.
2. Si se sabe que la productividad del procesador es de 6,3 trabajos por segundo, ¿cuál es el número medio de trabajos en esta estación?
3. Calcule el tiempo medio de respuesta del sistema.
4. ¿Tendría algún efecto sobre las prestaciones sustituir el procesador por una versión más rápida?
5. Determine cuál sería el cuello de botella del sistema si el procesador y el disco se sustituyen, respectivamente, por versiones 5 y 2 veces más rápidas.

SOLUCIÓN:

1. La carga es alta porque la tasa de llegadas está cerca de su valor máximo de 1,11 peticiones por segundo.
2. En el procesador hay una media de 17,18 trabajos.
3. El tiempo medio de respuesta es de 16,7 segundos.
4. Sí porque el procesador es el cuello de botella del sistema.
5. En este caso el cuello de botella seguirá siendo el procesador.

■

**PROBLEMA 5.25** Un sistema interactivo con 3 usuarios y un tiempo medio de reflexión de 5 segundos se modela mediante los siguientes parámetros (los tiempos se expresan en segundos):

| Dispositivo    | $S_i$ | $V_i$ |
|----------------|-------|-------|
| Procesador (1) | 0,01  | 15    |
| Disco (2)      | 0,04  | 8     |
| Disco (3)      | 0,08  | 6     |

Determine:

1. Las utilizaciones de cada dispositivo.
2. El tiempo medio de respuesta y la productividad del sistema (usando el algoritmo iterativo para redes cerradas).

SOLUCIÓN:

1.  $U_1=0.074$ ,  $U_2=0.158$ ,  $U_3=0.237$ .
2.  $R_0=1.077$  s,  $X_0=0.49$  trabajos/s.

■