

**Tema 6: Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado**

*¿Cómo modelar el rendimiento y predecir la capacidad de mi Sistema Informático ?*

Analistas, administradores y diseñadores

**Objetivos del tema**

- Proporcionar un modelo analítico de comportamiento de un sistema informático como punto de partida para obtener índices de rendimiento.
- Entender la importancia de los cuellos de botella como limitadores del rendimiento de los sistemas informáticos.
- Saber aplicar las leyes operacionales en ejemplos sencillos para obtener índices de rendimiento.
- Saber interpretar los límites asintóticos u optimistas del rendimiento que establece el análisis operacional.
- Saber evaluar de forma cuantitativa el efecto sobre el rendimiento de un computador de diferentes terapias de mejora o estrategias de diseño.

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Bibliografía

- *Evaluación y modelado del rendimiento de los sistemas informáticos.* X. Molero, C. Juiz, M. Rodeño. Pearson Educación, 2004. Capítulos 4 y 5.
- *The art of computer system performance analysis.* R. Jain. John Wiley & Sons, 1991. Capítulos 30, 32, 33 y 34.
- *Measuring computer performance: a practitioner's guide.* David J. Lilja, Cambridge University Press, 2000. Capítulo 11.

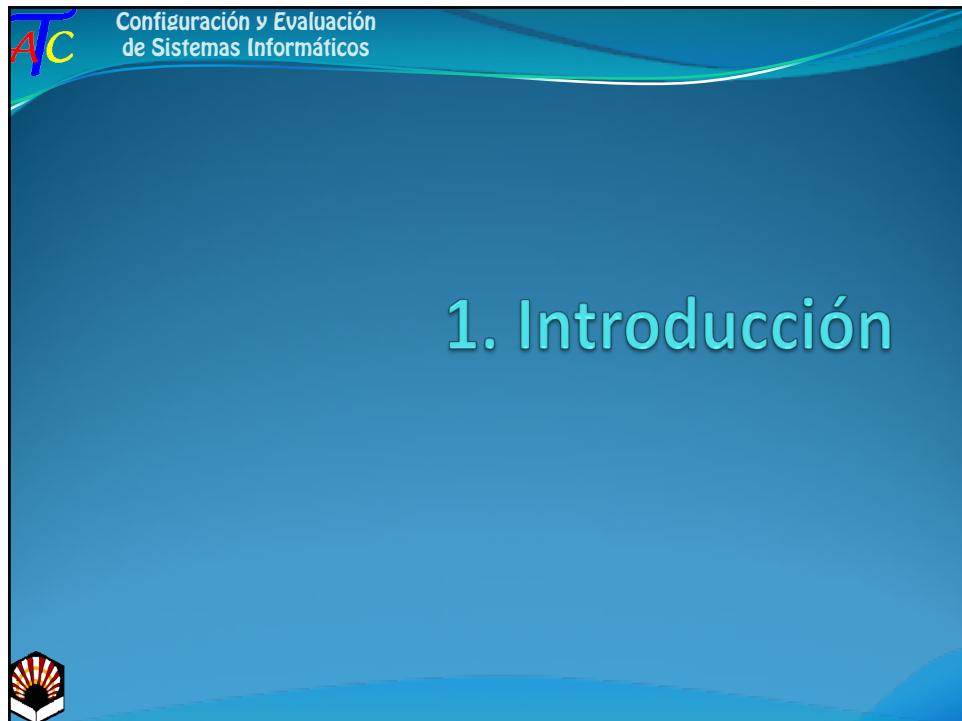
Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 3

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Contenido

- 1. Introducción.
- 2. Redes de colas de espera.
- 3. Variables y leyes operacionales.
- 4. Límites asintóticos del rendimiento.
- 5. Algoritmos de resolución de redes de colas.
- 6. Técnicas de mejora del rendimiento.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 4



The slide is titled 'Como decíamos en el tema 1...' (As we said in topic 1...). It features a central diagram showing a server rack. Two arrows point to it: one from a yellow box labeled 'Carga real' (Real Load) and another from a yellow box labeled 'Modelo de la Carga real' (Model of the Real Load). The server rack has two green arrows pointing down to blue and green boxes labeled 'Índices de rendimiento' (Performance Indices). To the right of the server is a detailed model of a system with various components like queues and servers, labeled with symbols like  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ,  $\lambda_4$ ,  $\mu_1$ ,  $\mu_2$ , and  $\mu_3$ . A red arrow points from this model to a red box labeled 'Índices de rendimiento'. The top right corner of the slide says 'Tema 6'. The bottom center contains the text 'Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado.'

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## El modelo de un sistema informático

- Modelo: abstracción del sistema informático real.
  - Conjunto de dispositivos interrelacionados y trabajos que los usan (carga).
    - Dispositivos (*resources*): procesador, discos, memoria, red, etc.
    - Trabajos (*jobs*): programas, transacciones, peticiones, etc.
  - Normalmente un dispositivo o recurso solo puede ser usado por un trabajo a la vez. El resto habrá de esperar.
- Modelos basados en redes de colas (*queueing networks*).
  - Introducidos en la década de 1950.
  - Objetivo: cálculo del tiempo de respuesta que experimenta un trabajo procesado por un sistema informático.
  - Aproximación estadística.
- Otros modelos: redes de Petri, cadenas de Markov.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 7

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplos de diferentes modelos

The diagram illustrates the relationship between a real system and three modeling paradigms:

- Sistema real:** A photograph of a computer hardware setup with multiple components and cables.
- Redes de Petri:** A Petri net diagram with places P1, P2, P3 and transitions T1, T2, T3. Transitions T1, T2, and T3 have outgoing arcs to places P2, P3, and P1 respectively. There is also a self-loop transition T3.
- Cadenas de Markov:** A state transition diagram showing states as nodes (e.g., 0,0; 1,1; 2,2; 3,3) and transitions with associated probabilities (e.g., 0.5, 1, 2).
- Redes de Colas:** A queueing network diagram with two parallel servers  $\mu_1$  and  $\mu_2$ . Input  $\lambda$  splits into  $p$  to queue 1 and  $1-p$  to queue 2.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 8

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## El análisis operacional

- Presentado por Denning y Buzen en 1978.
- Basado en magnitudes medibles (*variables operacionales*) del sistema informático.

- Leyes operacionales: relaciones entre las magnitudes medibles.
- Límites asintóticos de las prestaciones por medio de cálculos muy sencillos (*back on the envelope calculations*).

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 9

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Concepto de estación de servicio

- Estación de servicio (*service station*): Objeto abstracto compuesto por un dispositivo (recurso físico) que presta un servicio y una cola de espera para los trabajos (clientes) que demandan un servicio de él.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 10

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Variables temporales de una estación de servicio

- Tiempo de espera en cola (W)
  - Tiempo transcurrido desde que un trabajo quiere hacer uso de un recurso hasta que realmente empieza a utilizarlo.
- Tiempo de servicio (S)
  - Tiempo transcurrido desde que un trabajo hace uso de un recurso hasta que lo libera.
- Tiempo de respuesta de la estación de servicio (R)
  - Suma de los dos tiempos anteriores.

$$R = W + S$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 11

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo 1

Suponga que una estación de servicio tiene un tiempo de servicio constante  $S=1s$ . Suponga que los trabajos llegan con la siguiente distribución temporal:

- Durante los primeros 5 segundos no llega ningún trabajo.
- En  $t=5s$  llegan 3 trabajos:  $J_1$ ,  $J_2$  y  $J_3$  (por ese orden).

Calcule los tiempos de espera en la cola y los tiempos de respuesta que experimentan cada uno de los tres trabajos. Calcule finalmente los valores medios de  $W$  y  $R$ .

$t \in [0,5[ s$        $t \in [7,8[ s$   
 $t \in [5,6[ s$        $t \in [8,\infty[ s$   
 $t \in [6,7[ s$

$W(J_1) = 0s,$        $W(J_2) = 1s,$        $W(J_3) = 2s.$       Valor medio  $W = 1s$   
 $R(J_1) = 1s,$        $R(J_2) = 2s,$        $R(J_3) = 3s.$       Valor medio  $R = 2s$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 12

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Estaciones con más de un servidor

- Son capaces de atender a más de un trabajo en paralelo:

3 servidores idénticos

Infinitos servidores: no hay espera en cola.  
R=S (tipo retardo)

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

13

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Un par de modelos sencillos

Biprocessor

Disco

Tiempo de servicio: tiempo de ejecución del proceso en el sistema

Tiempo de servicio: posicionamiento más latencia rotacional más transferencia

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

14

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## El tiempo de reflexión (*think time*)

- Es un parámetro (Z) que modela el tiempo que requiere el usuario antes de volver a lanzar una petición al sistema informático.
- Se suele modelar mediante una estación de servicio tipo retardo con un tiempo de servicio = Z.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 15

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

## 2. Redes de colas

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Redes de colas: concepto

- Conjunto de estaciones de servicio conectadas entre sí.
- Cada recurso del sistema viene modelado mediante una estación de servicio.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

17

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## El modelo de servidor central

- Es el modelo que más se ha utilizado para representar el comportamiento de los programas en un sistema informático.
- ¿Cuál es este comportamiento?
  - Un trabajo que llega al sistema comienza utilizando el procesador.
  - Después de dejar el procesador, el trabajo puede:
    - terminar (sale del sistema), o bien
    - realizar un acceso a la unidad de entrada/salida (discos, red,...).
  - Despues de una operación con una unidad de entrada/salida, el trabajo vuelve al procesador.
- Recursos considerados
  - Procesador
  - Entrada/salida: unidades de disco magnético, óptico, red, etc.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

18

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Modelo de servidor central: Diagrama básico de conexión

- Propiedad: Cada trabajo que abandona el modelo (=proceso ejecutado) ha “visitado” la CPU tantas veces como la suma de sus “visitas” a cada uno los dispositivo de E/S más 1.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 19

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Red de colas abierta

- Los trabajos llegan a la red a través de una fuente externa. Tras ser procesados, salen de ella a través de uno o más sumideros.

  - Se usa para sistemas cuyo número de trabajos ( $N$ ) puede variar con el tiempo.
  - Se parte de una tasa de llegada de trabajos conocida ( $\lambda$ ).
  - Objetivo del modelo: cálculo del tiempo de respuesta ( $R$ ) y del número de trabajos ( $N$ ) que se encuentran por término medio dentro el sistema.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 20

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Red de colas cerrada

- Presenta un número constante de trabajos en el sistema ( $N$ ) que van recirculando por el mismo.
  - Sistemas con cargas (número de trabajos) por lotes (*batch*).
  - Sistemas con cargas (número de trabajos) con interacción del usuario. Tiempo de reflexión ( $Z$ , *think time*).
  - Objetivo: cálculo del tiempo medio de respuesta ( $R$ ) y de la productividad media ( $X$ ) del sistema.

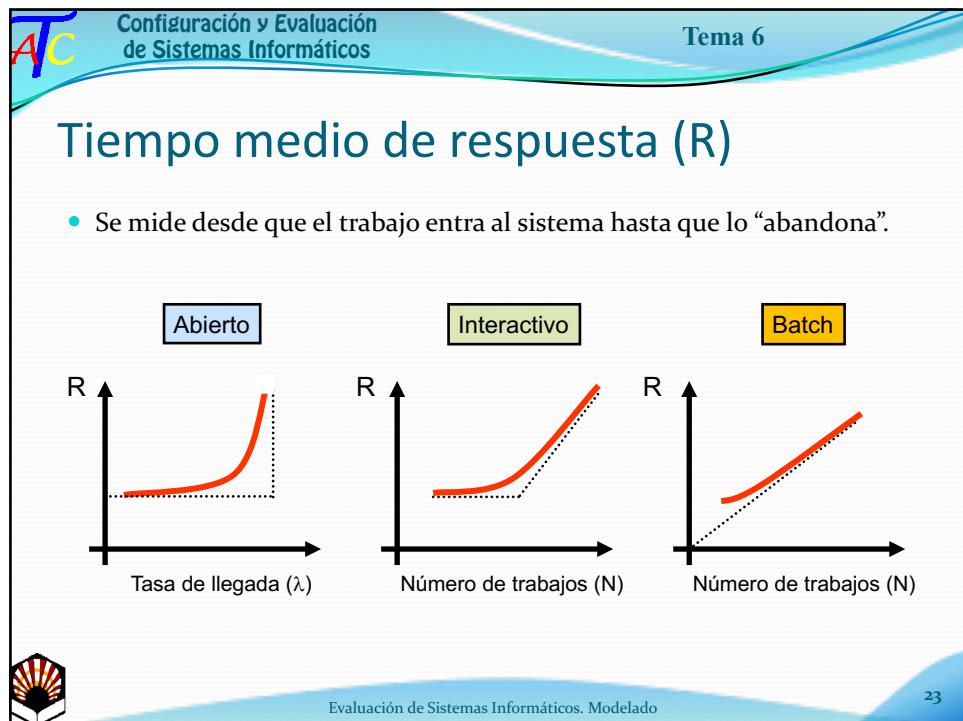
Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 21

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Redes de colas mixtas

- Más de un tipo de carga que hace uso del sistema.
- Ejemplo: sistema con carga interactiva y transaccional.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 22



ATC Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

## 3. Variables y leyes operacionales

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Variables: sistema vs estación de servicio

- El sistema contiene  $K$  estaciones de servicio (recursos o dispositivos).
- Las variables se miden mediante monitorización o se estiman mediante especificaciones técnicas del hardware
- A todo el sistema en su globalidad lo denotamos como dispositivo “cero”.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 25

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Variables operacionales básicas

- Variable global temporal
  - $T$  Duración del periodo de medida en el que se extrae el modelo.
- Variables relacionadas con el dispositivo  $i$ 
  - $A_i$  Número de trabajos solicitados (llegadas, *arrivals*).
  - $C_i$  Número de trabajos completados (salidas, *completions*).
  - $B_i$  Tiempo que el dispositivo está ocupado (*busy time*).

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 26

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Variables operacionales deducidas

- **Ya conocidas:**

• $\lambda_i$ Tasa de llegada ( <i>arrival rate</i> )	trabajos/segundo
• $X_i$ Productividad ( <i>throughput</i> )	trabajos/segundo
• $S_i$ Tiempo de servicio ( <i>service time</i> )	segundos/trabajo
• $W_i$ Tiempo de espera en cola ( <i>waiting time</i> )	segundos/trabajo
• $R_i$ Tiempo de respuesta ( <i>response time</i> )	segundos/trabajo
• $\tau_i$ Tiempo entre llegadas ( <i>interarrival time</i> )	segundos

$$S_i = \frac{B_i}{C_i} \quad R_i = W_i + S_i \quad \tau_i = \frac{1}{\lambda_i} = \frac{T}{A_i}$$

$$\lambda_i = \frac{A_i}{T} \rightarrow \begin{array}{c} | \\ | \\ | \\ | \end{array} \rightarrow X_i = \frac{C_i}{T}$$

Estación de servicio  $i$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 27

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Variables operacionales deducidas (II)

- Utilización  $U_i$  (*utilization*): Es la proporción de tiempo que el dispositivo ha estado en uso ( $B_i$ ) con respecto al intervalo total de medida ( $T$ ). Es una variable adimensional. Coincide con el número medio de trabajos siendo servidos por el dispositivo (como máximo 1 si  $B_i=T$ ).
- $Q_i$  Número medio de trabajos en cola de espera (*waiting jobs*).
- $N_i$  Número medio de trabajos en la estación de servicio (cola más recurso). Se cumple que  $N_i = Q_i + U_i$ .

$$Q_i \quad U_i$$

Estación de servicio  $i$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 28

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo 2

Suponga que la estación de servicio  $i$ -ésima de una red de colas tiene un tiempo de servicio constante  $S_i=1s$ . Suponga que los trabajos llegan con la siguiente distribución temporal:

- Durante los primeros 5 segundos no llega ningún trabajo.
- En  $t=5s$  llegan 3 trabajos:  $J_1, J_2$  y  $J_3$  (por ese orden).

Para el intervalo de medida  $[0, 10]s$ , calcule  $A_i, B_i, C_i, \lambda_i, \tau_i, X_i, Q_i, N_i, U_i$ .

The diagram illustrates the arrival and processing of three jobs at a service station over five time intervals of 1 second each. 
 - Interval  $t \in [0,5]$ : No jobs arrive; the station is empty.
 - Interval  $t \in [5,6]$ : Job  $J_3$  arrives. The station has one job in service ( $J_3$ ) and one waiting ( $J_2$ ).
 - Interval  $t \in [6,7]$ : Job  $J_2$  arrives. The station has two jobs in service ( $J_3$  and  $J_2$ ).
 - Interval  $t \in [7,8]$ : Job  $J_1$  arrives. The station has three jobs in service ( $J_3, J_2, J_1$ ).
 - Interval  $t \in [8,10]$ : All three jobs have been processed and leave the station. The station is empty again.

Estación de servicio  $i$

$A_i = 3$  trabajos,  $B_i = 3s$ ,  $C_i = 3$  trabajos,  $\lambda_i = X_i = 3/10 = 0.3$  trabajos/s,  $\tau_i = 3.3$  s

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 29

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo 2 (cont.)

Cálculo de la utilización media ( $U_i$ ) y del número medio de trabajos en la cola ( $Q_i$ ) y en la estación ( $N_i$ ).

$$S_i = 1s$$

The diagram illustrates the arrival and processing of three jobs at a service station over five time intervals of 1 second each. 
 - Interval  $t \in [0,5]$ : No jobs arrive; the station is empty.
 - Interval  $t \in [5,6]$ : Job  $J_3$  arrives. The station has one job in service ( $J_3$ ) and one waiting ( $J_2$ ).
 - Interval  $t \in [6,7]$ : Job  $J_2$  arrives. The station has two jobs in service ( $J_3$  and  $J_2$ ).
 - Interval  $t \in [7,8]$ : Job  $J_1$  arrives. The station has three jobs in service ( $J_3, J_2, J_1$ ).
 - Interval  $t \in [8,10]$ : All three jobs have been processed and leave the station. The station is empty again.

Estación de servicio  $i$

$$U_i = \frac{B_i}{T} = \frac{3}{10} = 0.3$$

$$Q_i = \frac{0 \times 5s + 2 \times 1s + 1 \times 1s + 0 \times 3s}{10} = 0.3$$

$$N_i = \frac{0 \times 5s + 3 \times 1s + 2 \times 1s + 1 \times 1s}{10} = 0.6$$

Otras formas alternativas de calcular  $U_i$ :

$$U_i = N_i - Q_i = 0.3$$

$$U_i = \frac{0 \times 5s + 1 \times 3s + 0 \times 2s}{10} = 0.3$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 30

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Las variables del sistema en su conjunto

- Variables básicas
  - $A_0$  Número de trabajos solicitados al sistema (*arrivals*).
  - $C_0$  Número de trabajos completados por el sistema (*completions*).
- Variables deducidas
  - $\lambda_0$  Tasa de llegada al sistema (*arrival rate*).
  - $X_0$  Productividad del sistema (*throughput, bandwidth*).
  - $R_0$  Tiempo de respuesta del sistema (*response time, latency*).
  - $N_0$  Número medio de trabajos en el sistema (#jobs).

$$\lambda_0 = \frac{A_0}{T}$$

$$R_0$$

$$N_0$$

$$X_0 = \frac{C_0}{T}$$

$$A_0 \rightarrow N_0 \rightarrow C_0$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 31

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Razón de visita y demanda de servicio

- Razón de visita  $V_i$  (*visit ratio*). Representa la proporción entre el número de trabajos completados por el sistema y el número de trabajos completados por el dispositivo. Es como si el trabajo tuviera que “visitar” el dispositivo  $V_i$  veces antes de poder abandonar el sistema. Es una variable adimensional.

$$V_i = \frac{C_i}{C_0}$$

- Demanda de servicio  $D_i$  (*service demand*). Tiempo total de uso del dispositivo “demandado” por cada trabajo que abandona el sistema.

$$D_i = \frac{B_i}{C_0} = V_i \times S_i$$

Nótese que la demanda de servicio no tiene en cuenta la posible espera en cola.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 32

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejercicio

Después de monitorizar el **procesador** de un servidor web durante un periodo de **30** segundos, se sabe que ha sido utilizado durante **27** segundos. Asimismo, se han contabilizado durante ese periodo un total de **74** peticiones de ejecución de procesos al procesador y un total de **72** procesos ejecutados (=peticiones al procesador completadas). Se ha estimado que cada petición al servidor web requiere la ejecución de una media de **cuatro** procesos (=visitas al procesador), calcule:

- ¿Cuál es la tasa de llegada al procesador?
- ¿Cuál es la productividad del procesador?
- Determíñese la utilización del procesador, su tiempo de servicio y su demanda de servicio.
- ¿Cuál es la productividad del servidor web?

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 33

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Leyes operacionales

- Todas las variables operacionales son **valores medios** para el intervalo de monitorización T. Por tanto, el valor de las variables operacionales depende del intervalo de observación T.
- Existen, sin embargo, una serie de relaciones entre las variables operacionales que se mantienen válidas para cualquier intervalo de observación y que no dependen de suposiciones sobre la distribución de los tiempos de servicio o de la forma en la que llegan los trabajos. **Leyes operacionales**.
- Estas leyes son tanto más útiles cuando se cumple la **hipótesis del equilibrio de flujo** que establece que en un Sistema Informático no saturado, si se escoge un intervalo de observación suficientemente largo, se cumple que:
  - El número de trabajos que llegan al servidor coincide aproximadamente con el que sale ( $A_0 \approx C_0$ ). Dicho de otra manera, la tasa de llegada coincide aproximadamente con la productividad ( $\lambda_0 \approx X_0$ ).

$$\frac{|A_0 - C_0|}{C_0} \approx 0 \quad \rightarrow \quad \lambda_0 \approx X_0$$

- El número de trabajos que llegan a cada estación de servicio coincide aproximadamente con el que sale: ( $\lambda_i \approx X_i, \forall i=1...K$ ).

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 34

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ley de Little (1961)

- Relaciona el número medio de trabajos en el sistema ( $N_0$ ) con el tiempo de respuesta ( $R_0$ ) y su tasa de llegada ( $\lambda_0$ ).

$$N_0 = \lambda_0 \times R_0$$

- Bajo la hipótesis del equilibrio de flujo, esta ley relaciona las tres variables más importantes que reflejan el rendimiento de un Sistema Informático: N, X y R.

$$N_0 = \lambda_0 \times R_0 = X_0 \times R_0$$

**Ley de Little**

Esta ley puede ser aplicada no solo al sistema en su totalidad, sino a cada estación de servicio y a cada uno de los diferentes sub-niveles de una estación de servicio.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 35

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## ¿Cómo aplicar la ley de Little?

- Aplicación a toda una estación de servicio:

$$N_i = \lambda_i \times R_i = X_i \times R_i$$

Tiempo de respuesta:  $R_i$   
Trabajos en la estación:  $N_i$

- Aplicación a la cola de una estación de servicio:

$$Q_i = \lambda_i \times W_i = X_i \times W_i$$

Tiempo de espera en cola:  $W_i$   
Trabajos en la cola:  $Q_i$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 36

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ley de la utilización

$$U_i = \frac{B_i}{T} = \frac{C_i}{T} \frac{B_i}{C_i} = X_i \times S_i \Rightarrow U_i = X_i \times S_i$$

- En realidad, se podía haber deducido también a partir de la ley de Little aplicada al servidor de una estación:

$$U_i = \lambda_i \times S_i = X_i \times S_i$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 37

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo de aplicación

- Como consecuencia de unas medidas sobre el disco duro principal de un servidor de base de datos **no saturado**, sabemos que el tiempo medio de respuesta del disco es 48ms, su tiempo medio de servicio es 30 ms y su productividad 25 trabajos completados por segundo. Calcule el tiempo medio de espera en la cola del disco duro así como el número medio de trabajos en su cola de espera.
- Calcule el tiempo medio de espera en cola del disco duro:

$$W_{disco} = R_{disco} - S_{disco} = 48 - 30 = 18 \text{ ms}$$

- Calcule el número medio de trabajos en su cola de espera:

$$Q_{disco} = N_{disco} - U_{disco} = 1.2 - 0.75 = 0.45 \text{ trabajos}$$

(ley de Little):  $N_{disco} = X_{disco} \times R_{disco} = 25 \text{ tr/s} \times 0.048 \text{ s} = 1.2 \text{ trabajos}$

(ley de la Utilización):  $U_{disco} = X_{disco} \times S_{disco} = 25 \text{ tr/s} \times 0.03 \text{ s} = 0.75 \text{ trabajos}$  (utilización 75%).

- Pregunta: ¿Por qué el tiempo de respuesta (48 ms) es mucho mayor que el tiempo de servicio (30 ms) si la utilización del disco no llega al 100%?

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 38

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ley del flujo forzado

- Las productividades (flujos) a diferentes niveles del sistema tienen que ser proporcionales a las razones de visita.
  - La ley del flujo forzado relaciona la productividad del sistema con la de cada uno de los dispositivos que integran el mismo:

$$V_i = \frac{C_i}{C_0} = \frac{X_i}{X_0} \Rightarrow X_i = X_0 \times V_i \quad \text{Ley del Flujo Forzado}$$

- Como consecuencia de la ley del flujo forzado, las utilizaciones de cada dispositivo también serán proporcionales a la productividad global del sistema, siendo la constante de proporcionalidad precisamente la demanda de servicio del dispositivo:

$$U_i = X_i \times S_i = X_0 \times V_i \times S_i = X_0 \times D_i \quad \text{Relación Utilización-Demanda de Servicio}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 39

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo de aplicación II

- Un ingeniero informático ha monitorizado un servidor de ayuda a la toma de decisiones durante 24 horas, contabilizando un total de 14400 peticiones externas al servidor. Durante ese tiempo, el monitor *sar* le ha indicado que el procesador ha ejecutado una media de 40 procesos por minuto y que su utilización ha sido del 40%. Suponiendo que el servidor no está saturado, calcule la razón de visita, la demanda de servicio y el tiempo medio de servicio del procesador.
- Solución:

Necesitamos calcular primero  $X_o = \lambda_o$  (ya que no saturado) =  $14400 \text{ tr} / (24 \text{ hr} \times 60 \text{ min/hr}) = 10 \text{ tr/min}$

$$V_{CPU} = X_{CPU}/X_o = \frac{40 \text{ tr/min}}{10 \text{ tr/min}} = 4$$

$$D_{CPU} = U_{CPU}/X_o = \frac{0.4}{10 \text{ tr/min}} = 0.04 \text{ min} = 2.4 \text{ s}$$

$$S_{CPU} = D_{CPU}/V_{CPU} = 2.4 \text{ s} / 4 = 0.6 \text{ s}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 40

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ley general del tiempo de respuesta

- Teniendo en cuenta que el número de trabajos dentro de un sistema no es más que la suma del número de trabajos que hay en cada estación de servicio:  $N_o = N_1 + N_2 + \dots + N_K$ , que  $N_i = X_i \times R_i = X_o \times V_i \times R_i$  y que  $V_o = 0$ , es fácil demostrar que:

$$R_0 = V_1 \times R_1 + V_2 \times R_2 + \dots + V_K \times R_K = \sum_{i=1}^K V_i \times R_i$$

expresión conocida como “Ley general del tiempo de respuesta”. Nótese que, en general:

$$R_0 \neq R_1 + R_2 + \dots + R_K = \sum_{i=1}^K R_i$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 41

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo de aplicación III

- Un servidor de ayuda a la toma de decisiones realiza, de media, para cada consulta un total de 12 accesos al disco duro #1 y 30 accesos al disco duro #2. Mediante una herramienta de monitorización, se ha estimado que el tiempo medio de respuesta de ambos discos ha sido de 5 ms. Calcule el tiempo medio que ha tardado el servidor en atender cada consulta:

$$R_0 = \sum_{i=1}^2 V_i \times R_i = V_1 \times R_1 + V_2 \times R_2 = 30 \times 5 + 12 \times 5 = 210 \text{ ms}$$

Nótese que, en este caso:

$$R_0 \neq \sum_{i=1}^2 R_i = R_1 + R_2 = 5 + 5 = 10 \text{ ms}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 42

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ley del tiempo de respuesta interactivo

- Se obtiene mediante la aplicación de la ley de Little a una red cerrada de tipo interactivo.
- $N_Z$ = Número medio de trabajos (=clientes) en reflexión.

$$\begin{aligned} N_Z &= X_0 \times Z; & N_0 &= X_0 \times R_0 \\ N_T &= N_Z + N_0 = X_0 \times Z + X_0 \times R_0 = & & = X_0 \times (Z + R_0) \\ && \xrightarrow{\quad} & R_0 = \frac{N_T}{X_0} - Z \end{aligned}$$

que se conoce como la *Ley del tiempo de respuesta interactivo*.

Nótese que al ser una red cerrada, el número total de trabajos (=clientes) en la red cerrada ( $N_T = N_Z + N_0$ ), es constante.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 43

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo de aplicación IV

- En un servidor de ficheros, durante un tiempo T, se encuentran conectados un total de 3000 usuarios, cada uno asociado a un único fichero (1 usuario = 1 fichero = 1 trabajo de nuestro modelo). Suponiendo que el tiempo medio de reflexión de cada usuario es de 20 segundos y que el tiempo medio de respuesta del servidor es de 10 segundos por cada fichero, ¿cuál es la productividad del servidor y cuántos trabajos se encuentran, de media, en reflexión?

$$X_0 = \frac{N_T}{R_0 + Z} = \frac{3000}{10 + 20} = 100 \text{ tr/s} \quad N_Z = X_0 \times Z = 2000 \text{ tr}$$

- Si se quiere conseguir una productividad de 125 trabajos por segundo, ¿qué tiempo de respuesta debería tener el servidor?

$$R_0 = \frac{N_T}{X_0} - Z = \frac{3000}{125} - 20 = 4 \text{ s}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 44

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

## 4. Límites asintóticos del rendimiento

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

### Limitaciones en el rendimiento: cuello de botella

- Todo sistema presenta alguna limitación en su rendimiento.
- En esta sección veremos que la localización del elemento limitador no solo depende del servidor sino también de la carga.
  - Además, puede haber más de uno de estos elementos limitadores.
  - Al elemento limitador del rendimiento del servidor se le denomina cuello de botella (*bottleneck*).
- Veremos que la única manera de mejorar las prestaciones de un servidor de manera significativa es actuando sobre el cuello de botella.

The diagram shows a road with multiple lanes. Arrows point down from the top and up from the bottom, representing data flow between the CPU and the DISK. A narrow neck in the middle of the road represents the bottleneck. Labels 'CPU' and 'DISK' are at the ends of the road.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

46

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Identificación de un cuello de botella

- El cuello de botella es el dispositivo con **mayor utilización** ya que será el primero que llegue a saturarse ( $U_i=1$ ) cuando aumente la carga ( $\lambda_0$  mayor).

$$U_i = X_i \times S_i = X_0 \times V_i \times S_i = X_0 \times D_i = \lambda_0 \times D_i$$

- Podemos identificar fácilmente el cuello de botella de un servidor simplemente buscando el dispositivo con **mayor demanda de servicio** ( $U_i \propto D_i$ ).
- Si denotamos como "b" al índice del dispositivo cuello de botella, su demanda de servicio y su utilización, vendrán dadas por:

$$D_b = \max_{i=1 \dots K} \{D_i\} = V_b \times S_b$$

$$U_b = \max_{i=1 \dots K} \{U_i\} = X_0 \times D_b$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 47

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Saturación del sistema

- El sistema se satura cuando lo hace el cuello de botella ya que, por definición, éste será el primer dispositivo en alcanzar una utilización = 1 cuando aumente la carga.

Operación “normal”

Aumento de la carga:  $\lambda_0 \uparrow$

$U_b=0.6$

$U_b=1.0$

En saturación, el sistema alcanza su productividad máxima:  
 $X_0^{max} = 1/D_b$

$X_0^{max} = 1/D_b$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 48

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Sistema equilibrado (*balanced system*)

- Sistema en que todos los dispositivos tienen la misma demanda de servicio o utilización (la carga se absorbe equitativamente):

$$U_i \approx U_j \quad \forall i, j = 1 \cdots K \quad \rightarrow \quad D_i \approx D_j \quad \forall i, j = 1 \cdots K$$

Device	Utilization (U)
DISCO1	~0.4
DISCO2	~0.4
CPU	~0.4

Device	Utilization (U)
DISCO1	~0.9
DISCO2	~0.9
CPU	~0.9

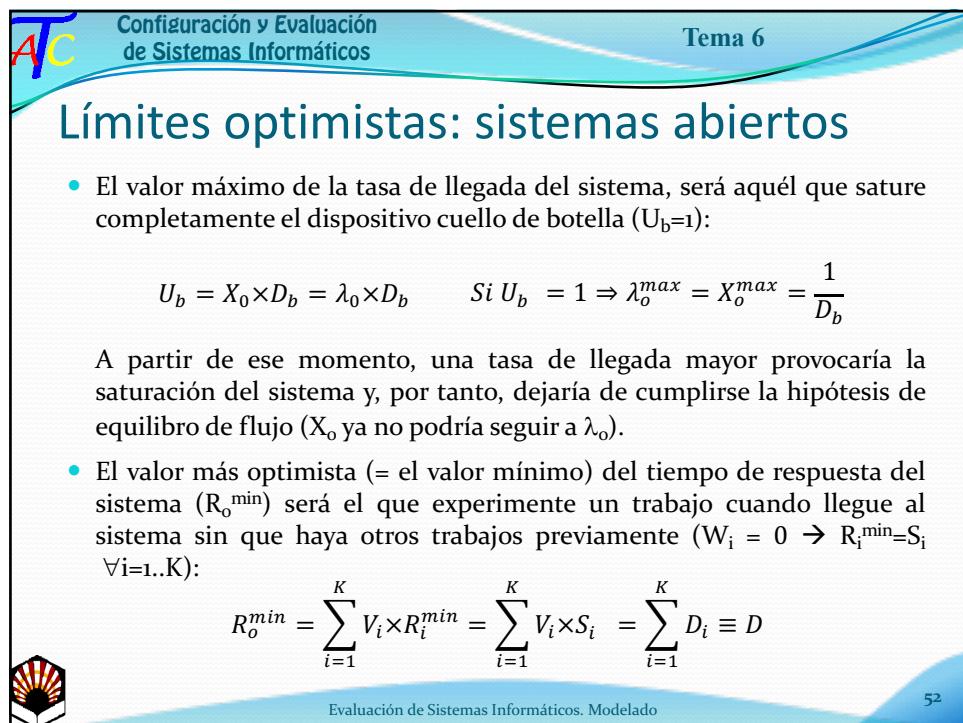
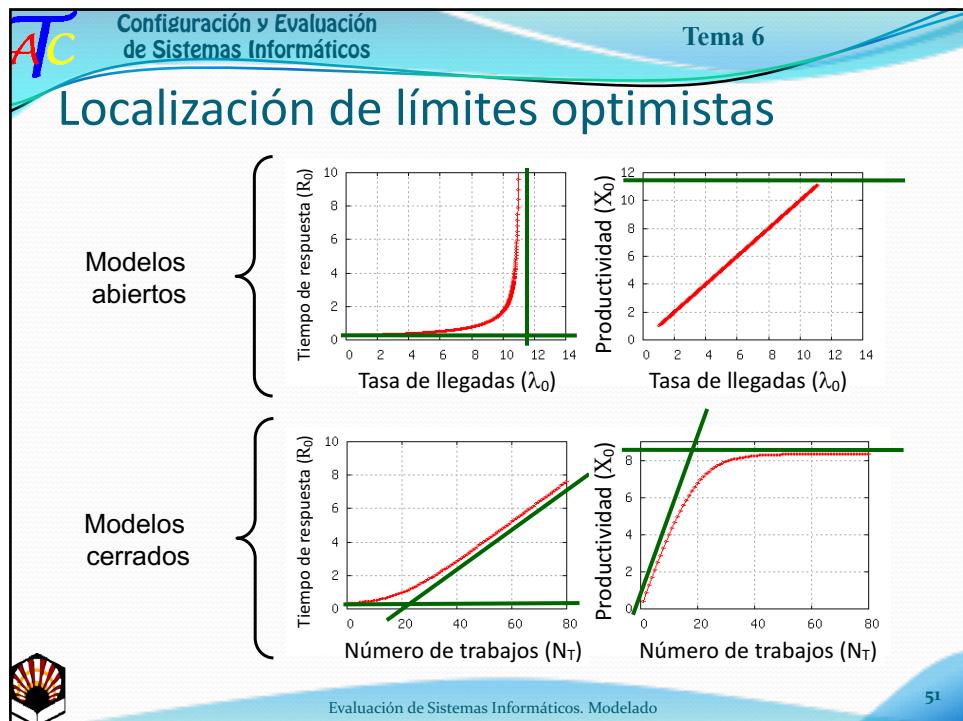
Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 49

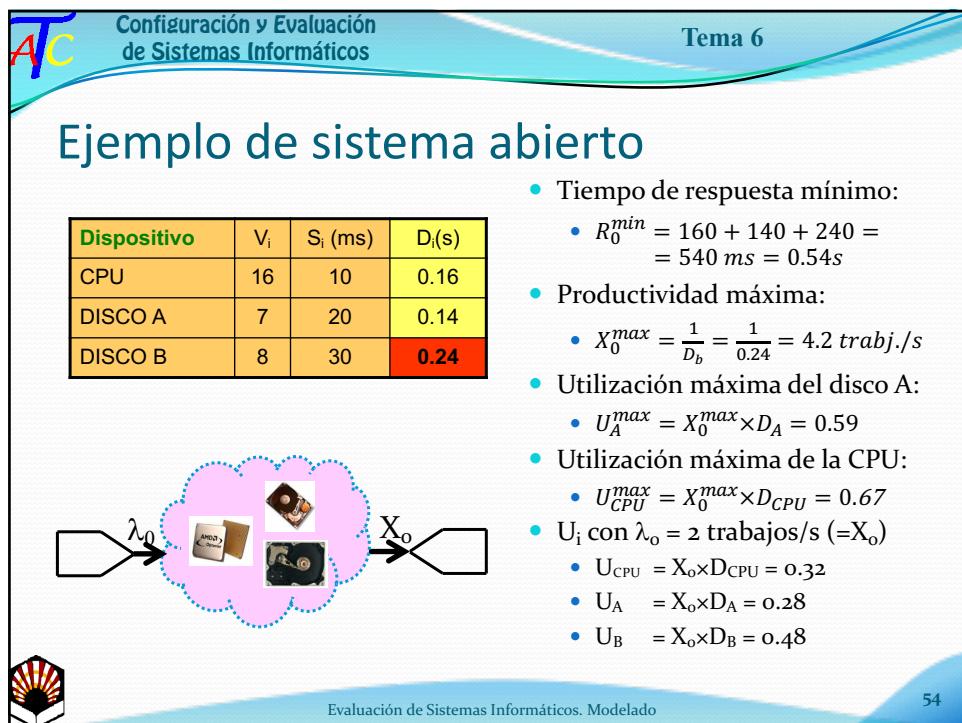
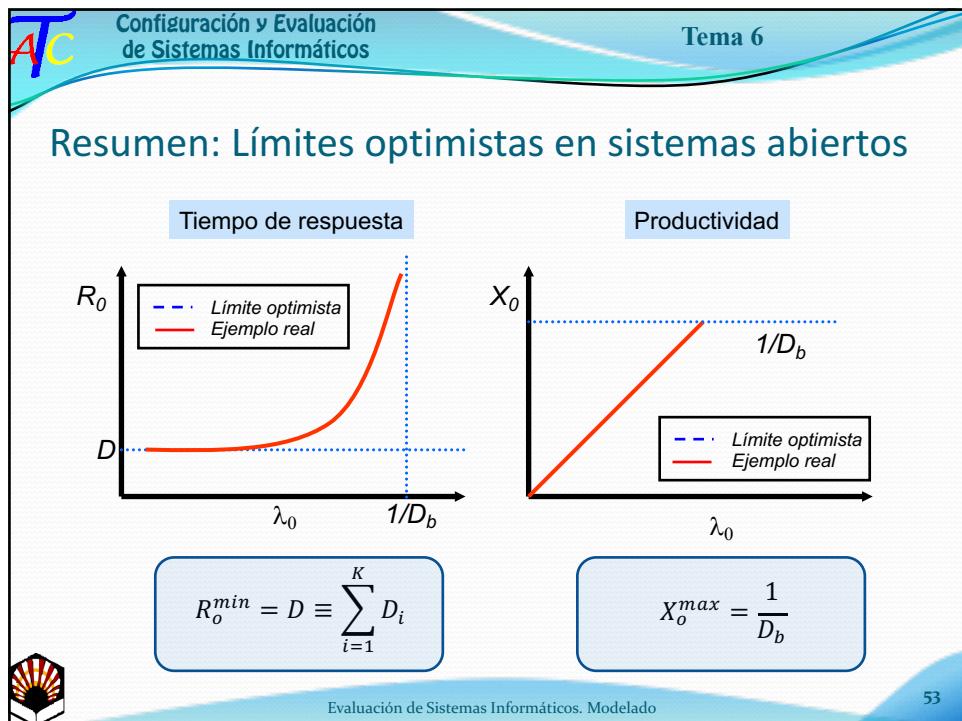
**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

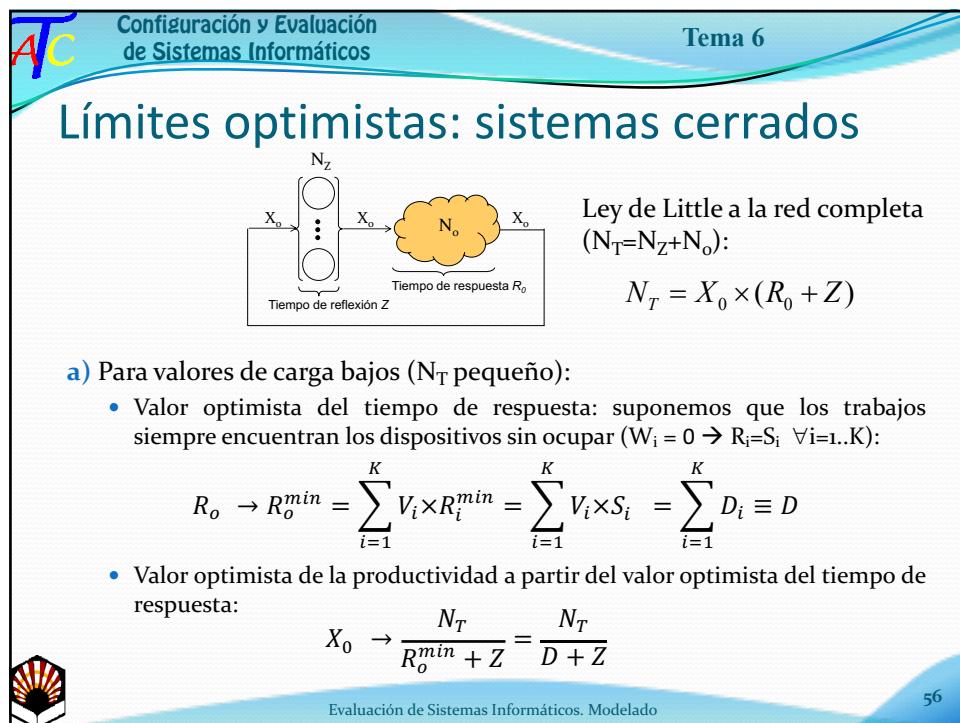
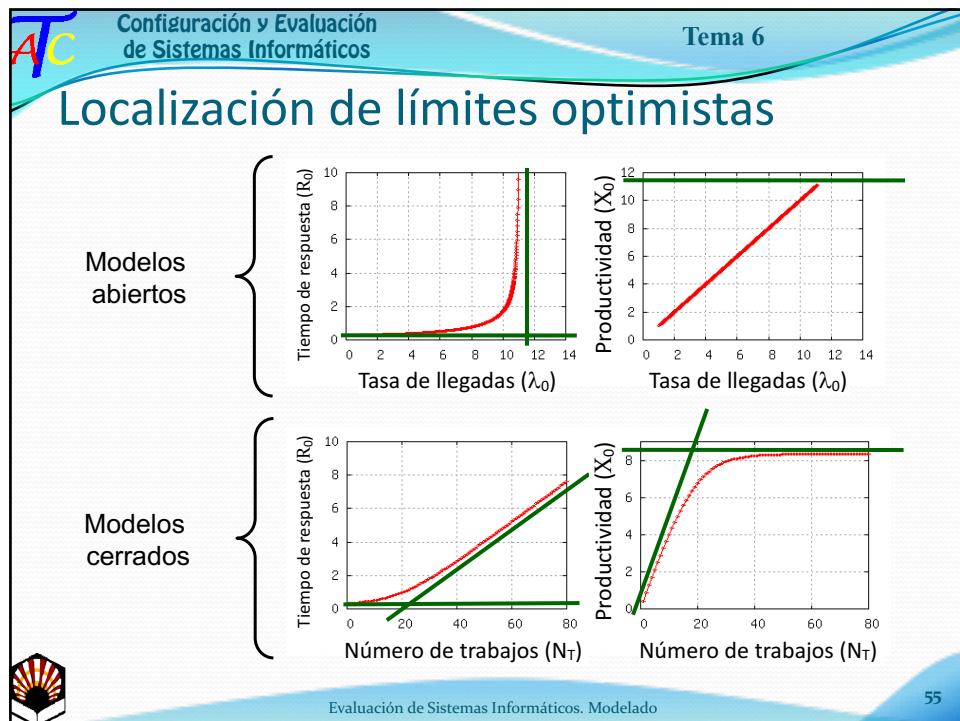
## Límites asintóticos del rendimiento

- Se trata de encontrar una cota superior de la productividad ( $X_0$ ) e inferior del tiempo de respuesta ( $R_0$ ) del sistema. Son, por tanto, **límites optimistas** del rendimiento.
  - ¿Cuál es la productividad máxima ( $X_0^{max}$ )?
  - ¿Cuál es el tiempo de respuesta mínimo ( $R_0^{min}$ )?
- Campos de aplicación:
  - Estudios preliminares: consideración de un gran número de configuraciones candidatas.
  - Estimación de la mejora potencial de prestaciones que pueden reportar ciertas acciones sobre el sistema.
  - Planificación de la capacidad (*capacity planning*).

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 50







**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Límites optimistas: sistemas cerrados (II)

Ley de Little a la red completa ( $N_T = N_Z + N_o$ ):

$$N_T = X_0 \times (R_0 + Z)$$

b) Para valores de carga altos ( $N_T$  grande):

- Valor optimista de la productividad. Suponemos que el dispositivo cuello de botella está saturado:

$$U_b = X_0 \times D_b \quad \text{Si } U_b \rightarrow 1 \Rightarrow X_o \rightarrow X_o^{max} = \frac{1}{D_b}$$

- Valor optimista del tiempo de respuesta, a partir del valor optimista de la productividad:

$$R_0 \rightarrow \left( \frac{N_T}{X_o^{max}} \right) - Z = N_T \times D_b - Z$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 57

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Resumen sistemas cerrados

Tiempo de respuesta

$$R_0 \geq \max\{D, N_T \times D_b - Z\}$$

Productividad

$$X_0 \leq \min\left\{\frac{N_T}{D + Z}, \frac{1}{D_b}\right\}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 58

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Punto teórico de saturación

- Es el valor de  $N_T^*$  en donde las asíntotas coinciden:

$$D = N_T^* \times D_b - Z \Rightarrow N_T^* = \frac{D + Z}{D_b}$$

- Propiedades del punto teórico de saturación  $N_T^*$ :
  - Para un número total de trabajos  $N_T > N_T^*$ , los límites asintóticos vienen impuestos únicamente por el cuello de botella del sistema.
  - A partir de  $N_T^*$  trabajos ya no se puede conseguir el tiempo de respuesta mínimo ya que se empiezan a formar colas de espera en, al menos, el dispositivo cuello de botella.
  - En principio, es el número ideal de trabajos en la red ya que, al menos teóricamente, para  $N_T = N_T^*$  se podría conseguir la productividad máxima y el tiempo de respuesta mínimo del sistema.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 59

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

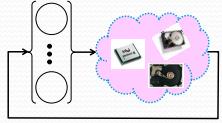
## Ejemplo de red cerrada

Tiempo de reflexión (Z)				18 s
Dispositivo	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)	
CPU	5	1	5	
DISCO A	2	2	4	
DISCO B	2	1.5	3	

- Asíntotas:

$$R_0 \geq \max\{D, N_T \times D_b - Z\}$$

$$= \max\{12, N_T \times 5 - 18\}$$

$$X_0 \leq \min\left\{\frac{N_T}{D + Z}, \frac{1}{D_b}\right\} = \min\left\{\frac{N_T}{30}, 0.2\right\}$$


$R_0$

Tiempo de respuesta

$N_T$

$D$

$N_T \times 5 - 18$

$X_0$

Productividad

$N_T/30$

$N_T$

- Punto teórico de saturación:

$$N_T^* = \frac{D + Z}{D_b}$$

$$= \frac{12 + 18}{5}$$

$$= 6 \text{ trabajos}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 60

The slide features a blue background with a wavy pattern at the bottom. In the top left corner is the logo 'ATC' with the text 'Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos'. The main title '5. Algoritmos de resolución de redes de colas' is centered in large, bold, light blue font. In the bottom left corner, there is a small icon of an open book with a sunburst behind it.

## 5. Algoritmos de resolución de redes de colas

The slide has a light blue header bar with the 'ATC' logo and the text 'Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos' on the left, and 'Tema 6' on the right. The main title 'Algoritmos de resolución de redes de colas' is centered in large, bold, light blue font. Below the title, a bulleted list provides information about the methodology:

- En este apartado vamos a proporcionar una metodología (algoritmo) para resolver modelos de redes de colas. Supondremos conocido:
  - El número de estaciones de servicio (K).
  - Por cada estación:
    - Razón de visita medio de cada estación ( $V_i$ ).
    - Tiempo de servicio medio de cada estación ( $S_i$ ).
  - Si la red es abierta: Tasa de llegada al sistema ( $\lambda_0$ )
  - Si la red es cerrada:
    - Número total de trabajos en la red ( $N_T$ ).
    - Si la red es interactiva: Tiempo medio de reflexión de los usuarios (Z).

Below the list is a flow diagram showing the process: input parameters (V<sub>i</sub>, S<sub>i</sub>, λ<sub>0</sub> ó N<sub>T</sub>, Z) leading to the 'Algoritmo' (Algorithm) circle, which then leads to output results (R<sub>i</sub>, R<sub>0</sub>, X<sub>i</sub>, X<sub>0</sub>, N<sub>i</sub>, etc.).

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

62

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Hipótesis de partida

- Partiremos del peor escenario posible: cuando un trabajo llega a la estación de servicio  $i$ -ésima supondremos que:
  - Tiene que esperar a que se procesen los  $N_i$  trabajos que hay en ese momento en la estación (uno sirviéndose y el resto esperando).
  - Luego, para ser procesado, tendrá que pasar su propio tiempo de servicio.
- Por lo tanto, su tiempo de respuesta medio vendrá dado, en el peor de los casos por:

$$R_i = N_i \times S_i + S_i = (N_i + 1) \times S_i$$

De donde se deduce que:

$$R_i = (X_i \times R_i + 1) \times S_i \Rightarrow$$

$$R_i = \frac{S_i}{1 - X_i \times S_i} = \frac{S_i}{1 - U_i} = \frac{S_i}{1 - X_0 \times D_i}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 63

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Resolución de redes abiertas

- Modelos abiertos (suponemos conocidos:  $\lambda_o, V_i$  y  $S_i \forall i=1..K$ ).

$$D_i = V_i \times S_i$$

$$R_i = \frac{S_i}{1 - X_0 \times D_i} = \frac{S_i}{1 - \lambda_0 \times D_i}$$

$$R_0 = \sum_{i=1}^K V_i \times R_i = \sum_{i=1}^K \frac{V_i \times S_i}{1 - \lambda_0 \times D_i} = \sum_{i=1}^K \frac{D_i}{1 - \lambda_0 \times D_i}$$

- El resto de variables operacionales se pueden calcular usando sus expresiones habituales ( $U_i, X_i, N_i, W_i, Q_i, \dots$ ).

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 64

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo: resolución de redes abiertas

Recurso	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)
CPU	9	0.010	0.09
DISCO	3	0.020	0.06
RED	5	0.016	0.08

Como ya sabíamos, hay un valor límite:  
 $\lambda_0^{max} = X_0^{max} = 1/D_b = 11.1 \text{ trabajos/s}$

A partir de ahí, el sistema se satura y ya no se mantiene el equilibrio de flujo:  $X_0 \neq \lambda_0$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 65

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Resolución con solvenet

- Programa muy sencillo que resuelve redes de colas utilizando los algoritmos de esta sección.
  - Disponible el código fuente en lenguaje C (moodle).
  - Los parámetros del modelo se indican en la línea de comandos.

```
Usage: solvenet [0|1] [lambda0| NT Z] K S1 V1...SK VK
With no parameters, shows this message
network: 0 (open) and 1 (closed)
lambda0: arrival rate = throughput (only open networks)
NT:      total number of jobs in the net (only closed nets)
Z:       think time (only interactive closed networks)
K:       number of service stations
S1:      service time of device i
Vi:      ratio visit of device i
```

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 66

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

### Resolución con solvenet: redes abiertas

Recurso	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)	$\lambda_o$	5.0 trabajos/s
CPU	9	0.010	0.09	solvenet 0 5.0 3 0.01 9 0.02 3 0.016 5	
DISCO	3	0.020	0.06		
RED	5	0.016	0.08		



```

*****
*   NAME    *   Ui    *   Ni    *   Ri    *   Xi    *
*****
*          *           *           *           *           *
*  DEV 1   *   0.4500*   0.8182*   0.0182*   45.0000*
*          *           *           *           *           *
*  DEV 2   *   0.3000*   0.4286*   0.0286*   15.0000*
*          *           *           *           *           *
*  DEV 3   *   0.4000*   0.6667*   0.0267*   25.0000*
*          *           *           *           *           *
*****

```

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

67

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

### Resolución con solvenet: redes abiertas (II)

Recurso	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)	$\lambda_o$	5.0 trabajos/s
CPU	9	0.010	0.09	solvenet 0 5.0 3 0.01 9 0.02 3 0.016 5	
DISCO	3	0.020	0.06		
RED	5	0.016	0.08		



```

*****
*   NAME    *   Vi    *   Si    *   Di    *   Qi    *
*****
*          *           *           *           *           *
*  DEV 1   *   9.0000*   0.0100*   0.0900*   0.3682*
*          *           *           *           *           *
*  DEV 2   *   3.0000*   0.0200*   0.0600*   0.1286*
*          *           *           *           *           *
*  DEV 3   *   5.0000*   0.0160*   0.0800*   0.2667*
*          *           *           *           *           *
*****

```

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

68

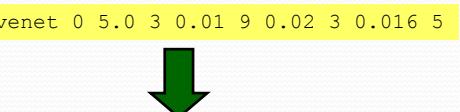
**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

### Resolución con solvenet: redes abiertas (III)

Recurso	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)
CPU	9	0.010	0.09
DISCO	3	0.020	0.06
RED	5	0.016	0.08

$\lambda_o$  5.0 trabajos/s

solvenet 0 5.0 3 0.01 9 0.02 3 0.016 5



```

*****
* ASYMPTOTIC BOUNDS *
*****
*
* R0_min =      0.2300   *
* X0_max =      11.1111   *
*
*****
```

```

*****
* SYSTEM VARIABLES   *
*****
*                      *   *
* #JOBS IN SYSTEM (N0) *   1.9134*
*                      *   *
* RESPONSE TIME (R0)  *   0.3827*
* MINIMUM RESPONSE TIME *   0.2300*
*                      *   *
* THROUGHPUT (X0)    *   5.0000*
* MAXIMUM THROUGHPUT *   11.1111*
*                      *   *
*****
```

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 69

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

### Resolución de redes cerradas

- Modelos cerrados (suponemos conocidos:  $N_T$ ,  $Z$  y  $V_i, S_i$ )
  - Debemos ir resolviendo la red para valores incrementales del número de trabajos en la red hasta alcanzar  $N_T$ :  $n_T=0,1,\dots,N_T$ .
  - Notación:  $N_i(n_T)$ : Número de trabajos en la estación de servicio  $i$  si en la red hubiese  $n_T$  trabajos. Ídem para los tiempos de respuesta  $R_i(n_T)$  y las productividades  $X_i(n_T)$ .

*For i = 1 to K do  $N_i(0) = 0$*  ← Inicialización de trabajos en las de estaciones.

*For  $n_T = 1$  to  $N_T$  do*

*For i = 1 to K do  $R_i(n_T) = (N_i(n_T - 1) + 1) \times S_i$*  ← Tiempo de respuesta de cada estación.

$R_0(n_T) = \sum_{i=1}^K V_i \times R_i(n_T), \quad X_0(n_T) = \frac{n_T}{Z + R_0(n_T)}$  ← Tiempo de respuesta y productividad del sistema.

*For i = 1 to K do  $N_i(n_T) = X_0(n_T) \times V_i \times R_i(n_T)$*  ← Actualización del número de trabajos en cada estación.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 70

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo: resolución de redes cerradas

T. reflexión (Z)	2 s	
<b>Recurso</b>	$V_i$	$S_i$ (s)
CPU	10	0.01
DISCO1	5	0.02
DISCO2	4	0.03

$N_{CPU}(0) = N_{DISCO1}(0) = N_{DISCO2}(0) = 0$

$n_T = 1$

$R_{CPU}(1) = S_{CPU} = 0.01s$

$R_{DISCO1}(1) = S_{DISCO1} = 0.02s$

$R_{DISCO2}(1) = S_{DISCO2} = 0.03s$

$R_0(1) = 10 \times 0.01 + 5 \times 0.02 + 4 \times 0.03 = 0.32s$

$X_0(1) = \frac{1}{2 + 0.32} = 0.43 \text{ trabajos/s}$

$N_{CPU}(1) = 0.43 \times 10 \times 0.01 = 0.043$

$N_{DISCO1}(1) = 0.43 \times 5 \times 0.02 = 0.043$

$N_{DISCO2}(1) = 0.43 \times 4 \times 0.03 = 0.052$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 71

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Ejemplo: resolución de redes cerradas (II)

$N_{CPU}(1) = 0.043; N_{DISCO1}(1) = 0.043; N_{DISCO2}(1) = 0.052$

$n_T = 2$

$R_{CPU}(2) = (0.043 + 1) \times S_{CPU} = 0.01043s$

$R_{DISCO1}(2) = (0.043 + 1) \times S_{DISCO1} = 0.0209s$

$R_{DISCO2}(2) = (0.052 + 1) \times S_{DISCO2} = 0.0316s$

$R_0(2) = \sum_{i=1}^3 V_i \times R_i(2) = 0.3348s$

$X_0(2) = \frac{2}{2 + 0.3348} = 0.857 \text{ trabajos/s}$

$N_{CPU}(2) = 0.857 \times 10 \times 0.01043 = 0.0894$

$N_{DISCO1}(2) = 0.857 \times 5 \times 0.0209 = 0.0894$

$N_{DISCO2}(2) = 0.857 \times 4 \times 0.0316 = 0.1081$

etc. hasta llegar al valor  $n_t = n_T$  que nos pidan

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 72

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

### Resolución con solvenet: redes cerradas

Recurso	$V_i$	$S_i$ (s)
CPU	10	0.01
DISCO1	5	0.02
DISCO2	4	0.03

T. reflexión (Z)	2 s
Nº Trabajos en la red cerrada ( $N_T$ )	2

```
solvenet 1 2 2 3 0.01 10 0.02 5 0.03 4
```



```

*****
* NAME   * Ui   * Ni   * Ri   * Xi   *
*****
*          *      *      *      *      *
* DEV 1   * 0.0857* 0.0894* 0.0104* 8.5659*
*          *      *      *      *      *
* DEV 2   * 0.0857* 0.0894* 0.0209* 4.2830*
*          *      *      *      *      *
* DEV 3   * 0.1028* 0.1081* 0.0316* 3.4264*
*          *      *      *      *      *
*****

```

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 73

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

### Resolución con solvenet: redes cerradas (II)

Recurso	$V_i$	$S_i$ (s)
CPU	10	0.01
DISCO1	5	0.02
DISCO2	4	0.03

T. reflexión (Z)	2 s
Nº Trabajos en la red cerrada ( $N_T$ )	2

```
solvenet 1 2 2 3 0.01 10 0.02 5 0.03 4
```



```

*****
* NAME   * Vi   * Si   * Di   * Qi   *
*****
*          *      *      *      *      *
* DEV 1   * 10.0000* 0.0100* 0.1000* 0.0037*
*          *      *      *      *      *
* DEV 2   * 5.0000* 0.0200* 0.1000* 0.0037*
*          *      *      *      *      *
* DEV 3   * 4.0000* 0.0300* 0.1200* 0.0053*
*          *      *      *      *      *
*****

```

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 74

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

Tema 6

### Resolución con solvenet: redes cerradas (III)

Recurso	V <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> (s)
CPU	10	0.01
DISCO1	5	0.02
DISCO2	4	0.03

T. reflexión (Z)	2 s
Nº Trabajos en la red cerrada (N <sub>T</sub> )	2

solvenet 1 2 2 3 0.01 10 0.02 5 0.03 4



```
*****
*      SYSTEM VARIABLES      *
*****
*          *      *
* #JOBS IN SYSTEM (N0) *  0.2868*
* #INTERACTIVE USERS (NZ) *  1.7132*
* #JOBS IN THE NET (NT) *   2*
* SATURATION POINT (N*) *  20*
*          *      *
* RESPONSE TIME (R0) *  0.3348*
* MINIMUM RESPONSE TIME *  0.3200*
*          *      *
* THROUHPUT (X0) *  0.8566*
* MAXIMUM THROUHPUT *  8.3333*
*          *      *
*****
```

```
*****
*      ASIMPTOTIC BOUNDS      *
*****
*          *
* R0_min = max {0.32, 0.12*NT-2.00}*
*          *
* X0_max = min {NT/2.32, 8.33}    *
*          *
*****
```

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

75

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

## 6. Técnicas de mejora



**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

Tema 6

## Técnicas para mejorar las prestaciones

- Para mejorar las prestaciones de manera significativa hay que actuar sobre el cuello de botella del sistema.
  - Actualización o reposición (upgrading).
  - Sintonización o ajuste (tuning).

Componente	Utilización
CPU	~0.42
DISCO	~0.78
DVD	~0.30

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

77

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

Tema 6

## Actualización o reposición (upgrading)

- Remplazar dispositivos por otros más rápidos.
  - Procesador, memoria, placa base, disco...
- Añadir dispositivos para poder realizar más tareas en paralelo.
  - Ejemplo: multiprocesadores, matrices de discos (RAID)...
- Algunos problemas
  - Compatibilidad de los nuevos elementos con los existentes.
  - Facilidad del sistema para dejarse actualizar.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

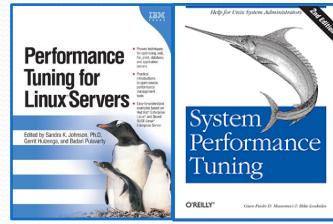
78

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

Tema 6

## Sintonización o ajuste (*tuning*)

- Optimización del funcionamiento de todos los componentes existentes:
  - Componentes hardware.
  - Sistema operativo.
  - Aplicaciones.
- Muchos ajustes se hacen en el sistema operativo:
  - Políticas de gestión de procesos y memoria virtual.
  - Distribución de la información entre discos.
- Algunos problemas:
  - Hay que conocer muy bien el sistema operativo y el funcionamiento de los componentes hardware.
  - Possible alteración de la fiabilidad.

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

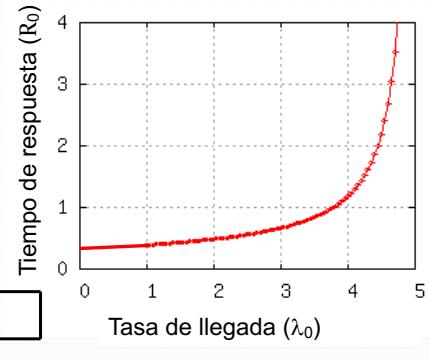
79

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

Tema 6

## Ejemplo: sistema abierto (servidor web)

Dispositivo	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)
CPU	10	0.02	<b>0.2</b>
DISCO A	4	0.02	0.08
DISCO B	5	0.01	0.05

$$R_0^{\min} = 0.33 \text{ s} \quad X_0^{\max} = \frac{1}{D_b} = \frac{1}{0.2} = 5.0 \text{ pet/s}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

80

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Actualización: CPU doble de rápida

Dispositivo	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)
CPU	10	0.01	<b>0.1</b>
DISCO A	4	0.02	0.08
DISCO B	5	0.01	0.05

La CPU se mantiene como cuello de botella pero con menor demanda



$R_0^{\min} = 0.23 \text{ s}$     $X_0^{\max} = \frac{1}{D_b} = \frac{1}{0.1} = 10.0 \text{ pet/s}$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 81

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos Tema 6

## Actualización: discos doble de rápidos

Dispositivo	$V_i$	$S_i$ (s)	$D_i$ (s)
CPU	10	0.02	<b>0.2</b>
DISCO A	4	0.01	0.04
DISCO B	5	0.005	0.025

La CPU se mantiene como cuello de botella pero con la misma demanda



$R_0^{\min} = 0.265 \text{ s}$     $X_0^{\max} = \frac{1}{D_b} = \frac{1}{0.2} = 5.0 \text{ pet/s}$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado 82

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

Tema 6

## Ejemplo: sistema cerrado interactivo (servidor de ficheros)

Tiempo de reflexión (Z)		4 s	
Dispositivo	V <sub>i</sub>	S <sub>i</sub> (s)	D <sub>i</sub> (s)
CPU	10	0.02	0.2
DISCO A	4	0.02	0.08
DISCO B	5	0.01	0.05

- Asíntotas:

$$R_0^{\min} = \max\{D, N_T \times D_b - Z\} = \max\{0.33, N_T \times 0.2 - 4\}$$

$$X_0^{\max} = \min\left\{\frac{N_T}{D + Z}, \frac{1}{D_b}\right\} = \min\left\{\frac{N_T}{4.33}, 5\right\}$$

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

83

**ATC** Configuración y Evaluación de Sistemas Informáticos

Tema 6

## Rendimiento del sistema original

Tiempo de respuesta ( $R_0$ )

Número total de trabajos ( $N_T$ )

Productividad ( $X_0$ )

Número total de trabajos ( $N_T$ )

Punto teórico de saturación:  
 $N_T^* = \left\lceil \frac{D + Z}{D_b} \right\rceil = 22$  trabajos

Los valores óptimos de ambos índices están determinados por el cuello de botella (CPU)

Evaluación de Sistemas Informáticos. Modelado

84

