



E.T.S.I.I.T - Máster Universitario en  
Ingeniería de Telecomunicación  
**Diseño y Operación de Redes Telemáticas**  
**Curso 2018/2019**

## Práctica 2 - Implementación de un simulador por eventos

Los alumnos deberán implementar el código del núcleo de un sencillo simulador por eventos. Deberán entregar una breve memoria, en la que incluirán, además de una descripción del código desarrollado, las pruebas realizadas con el mismo para validar su correcto funcionamiento, así como los resultados obtenidos al utilizarlo para analizar el sistema que les hubiera correspondido. La fecha límite para esta entrega será el **18 de enero de 2019**.

La práctica se realizará en una máquina virtual sobre VMWare. El SO *host* será *Windows*, y los alumnos utilizarán la cuenta **alumnos**, con la contraseña **telematica**. Como no se puede garantizar el almacenamiento de los ficheros, se recomienda que los alumnos se encarguen de, tras cada sesión, guardar sus desarrollos en algún medio adicional.

## Introducción y Objetivos

La simulación por eventos es una de las técnicas más empleadas para el análisis de sistemas de comunicaciones, especialmente en el ámbito de la ingeniería telemática. Es la base de la práctica totalidad de herramientas de simulación que existen en la actualidad, tales como OPNET, ns-3, etc. En esta práctica se pretende que el alumno asimile el funcionamiento básico de esta técnica y que implemente un motor de eventos sencillos para analizar el comportamiento de alguno de los protocolos de acceso al medio que se han estudiado en el tema 1 de la asignatura u otros modelos clásicos de sistemas de comunicaciones.

## Implementación del Simulador de Eventos

La propuesta inicial para esta práctica es que los alumnos utilicen el lenguaje de programación C para implementar el motor principal de la herramienta de simulación. Para ello utilizarán una lista enlazada en la que irán introduciendo, de manera ordenada según el tiempo de ejecución correspondiente, los diferentes eventos que se generen en el sistema.

Los alumnos tienen libertad para establecer la estructura necesaria para guardar los eventos, según las necesidades concretas del análisis que tienen que llevar a cabo, pero al menos debería incluir el tipo de evento y un identificador único que se asigne a cada uno de ellos.

El esquema básico del simulador será procesar el primer evento que aparece en la lista (notar que la ejecución de las acciones correspondientes podrían derivar en la generación de nuevos eventos), hasta que se cumpla una condición dada (por ejemplo, tiempo máximo de simulación).

## Comprobación del funcionamiento: sistema $M/M/\infty$

Como paso previo al análisis del protocolo que les haya correspondido, se deberá analizar el correcto funcionamiento del motor de eventos, para lo que se utilizará un sistema  $M/M/\infty$ , en el que los paquetes llegan según un proceso de Poisson, y nada más llegar se transmiten, asumiendo un tiempo de servicio exponencial negativo. Los valores correspondientes a la tasa de paquetes y al tiempo de servicio medio son lo que se recogen en el Anexo. Generar los ficheros de texto necesarios para corroborar el correcto modelado de ambos procesos, y utilizar una herramienta matemática (Matlab, Octave, R) para compararlos con la(s) distribución(es) teóricas.

## Utilización del simulador para el análisis de sistemas de comunicaciones

Finalmente, utilizar el simulador para estudiar el sistema/protocolo que se detalla en el Anexo, en función de la asignación correspondiente a cada grupo.

### ***Proyecto A. Protocolo CSMA/CD $p$ -persistente.***

En un acceso **CSMA/CD  $p$ -persistente**, cuando una estación escucha el canal y lo encuentra ocupado, decide aleatoriamente reprogramar la transmisión, con probabilidad  $1 - \delta$ . Con probabilidad  $\delta$  se mantiene a la escucha, transmitiendo la trama cuando el canal se libere. Se utilizará el simulador para analizar el comportamiento de este sistema (canal no ranurado), variando el valor de  $\delta$ . Se comprobará el correcto funcionamiento del simulador, representando el throughput para  $\delta = \{0, 1\}$  en función de la carga ofrecida, para varios valores del retardo de propagación normalizado ( $a$ ), y manteniendo  $\gamma = 2a$  en todos los casos, comparando los resultados con los que se recogen en [†] (págs 59 y 60). Posteriormente, se fijará el retardo de propagación normalizado en  $a = 0.01$ , y se representará el throughput para varios valores de  $\delta$ , así como la variación del valor máximo del rendimiento en función de  $\delta$ . Tomar como referencia el análisis que se hace en [§] (Figuras 7 y 8) para un sistema CSMA.

[†] R. Agüero. *Tema 1 Diseño y Operación de Redes Telemáticas: Análisis de técnicas de acceso al medio*. Disponible en [ocw.unican.es](http://ocw.unican.es)

[§] L. Kleinrock y F. Tobagi. "Packet Switching in Radio Channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and their Throughput-Delay Characteristics". En: *IEEE Transactions on Communications* 23.12 (dic. de 1975), págs. 1400-1416. ISSN: 0090-6778. DOI: 10.1109/TCOM.1975.1092768

### ***Proyecto B. Análisis de un sistema de pérdida pura con fuentes finitas.***

Utilizar el simulador para estudiar el comportamiento de una pico-célula de un sistema de comunicaciones móviles, asumiendo que un terminal no puede generar más llamadas hasta haber acabado la anterior. Asumir que el tiempo de servicio se puede modelar como una variable aleatoria exponencial negativa, de media 3 minutos. El número de llamadas que se pueden cursar simultáneamente serán 10 y la tasa de llegadas, por fuente libre, se supone de 4 llamadas por hora. Representar la probabilidad de pérdida en función del número de fuentes en el sistema (desde 1 a 40), así como el porcentaje del tiempo en el que todos los recursos están ocupados. Estudiar también la tasa de llegadas *real* al sistema. Siempre que

sea posible, comparar los resultados ofrecidos por el simulador con los valores teóricos, que se pueden encontrar en [†].

[†] R. Agüero. *Tema 5 Dimensionado y Planificación de Redes: Sistemas con fuentes finitas*. Disponible en [ocw.unican.es](http://ocw.unican.es)

### **Proyecto C. Problema del servidor lento.**

Utilizar el simulador para estudiar el problema del servidor lento [†]. Se trata de un sistema MM2, en el que uno de los servidores (recursos) es más lento que el otro  $C_2 = \alpha C_1$ ,  $0.5 < \alpha < 1$ . Analizar el comportamiento del sistema si cada llegada se procesa de manera aleatoria por una u otra interfaz. Representar el tiempo total y el número medio de peticiones en el sistema en función de  $\alpha$ . Tomar como referencia el Problema 23 en [§]. Asumir que  $\lambda = 100 \text{ s}^{-1}$ ,  $(T_s)_1 = 25 \text{ ms}$  (el tiempo de servicio se corresponde con la capacidad del recurso 1).

[†] Michael Rubinovitch. “The Slow Server Problem”. En: *Journal of Applied Probability* 22.1 (mar. de 1985), págs. 205-213. DOI: 10.2307/3213760

[§] R. Agüero. *Tema 3 Redes de Comunicaciones: Teletráfico. Colección de Problemas*. Disponible en [ocw.unican.es](http://ocw.unican.es)

### **Proyecto D. Análisis de una Red de Jackson Abierta.**

Considerar un sistema que analiza patrones de ADN, formado por tres procesos diferentes. De los análisis que llegan al sistema, un 20 % tienen que pasar un pre-procesado (*fase 1*), lo que lleva un tiempo medio de 2 segundos. El resto pasan directamente a la *fase 2*, con una duración media de 1.8 segundos. Una vez que finaliza el procesamiento de esta segunda fase, hay una probabilidad del 40 % de que el análisis no converja. Cuando esto sucede sería procesado por un tercer módulo software (*fase 3*), que adapta las características del análisis, para lo que requiere un tiempo medio de 4.8 segundos, antes de volver a pasar por la *fase 2*. Se asume que se dan las condiciones para modelar cada módulo como sistemas MM1. Representar el tiempo medio de permanencia en el sistema en función de la tasa de llegadas ( $\lambda_0 = 1 \dots 15 \text{ min}^{-1}$ ). Representar asimismo el número medio de análisis en la *fase 3*. El problema está planteado en [†], con lo que se puede comprobar la validez de los resultados.

[†] R. Agüero. *Tema 6 Dimensionado y Planificación de Redes: Redes de Sistemas de Cola. Colección de Problemas*. Disponible en [ocw.unican.es](http://ocw.unican.es)

### **Proyecto E. Análisis de un nodo de comunicaciones con 3 servicios y prioridad.**

Utilizar el simulador para estudiar el comportamiento de un nodo de comunicaciones, con una capacidad de 1024 kbps. Considerar que le llegan tres tipos de servicio con tasas  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  y  $\lambda_3$ . Se supone que el servicio 1 es el más prioritario, siendo el 3 el que menos prioridad tiene, de manera que siempre que haya un paquete del servicio 1 esperando, se transmitirá antes que los de tipo 2, que a su vez serán transmitidos antes que los de tipo 3. Los paquetes de tipo 1 son de longitud constante, de 128 Bytes, los del servicio 2 tienen dos posibles longitudes: 256 Bytes (el 80 %) y 1024 Bytes, mientras que los del servicio 3 tienen un tamaño distribuido uniformemente entre 512 y 1024 Bytes. Asumir que la tasa paquetes de los servicios 2 y 3 son iguales, y que la tasa total ( $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$ ) es 200 paquetes por segundo. Se irá variando los valores de  $\lambda_1 = \alpha \cdot \lambda$ , y se representarán los tiempos total, y de espera, para los tres tipos de paquetes, comparando los resultados con los teóricos, que se pueden encontrar en [†].

[†] R. Agüero. *Tema 3 Dimensionado y Planificación de Redes: Modelo M/M/1 y Extensiones*. Disponible en [ocw.unican.es](http://ocw.unican.es)

### ***Proyecto F. Sistema de pérdida pura con múltiples servicios.***

Utilizar el simulador para estudiar el comportamiento de un sistema de pérdida pura al que le llegan múltiples servicios, con diferentes requisitos de capacidad. Considerar los parámetros que aparecen en la página 38 de [†], y establecer la probabilidad de pérdida para cada tipo de servicio. La capacidad del nodo de comunicaciones ( $C = 12800$  kbs) se discretiza respecto a la capacidad del servicio que menos capacidad necesita. Ir variando posteriormente la tasa de llegadas de alguno de los servicios, y representar la evolución de las diferentes probabilidades de pérdida.

[†] R. Agüero. *Tema 4 Dimensionado y Planificación de Redes: Modelo M/M/S/S y Extensiones*. Disponible en [ocw.unican.es](http://ocw.unican.es)

### ***Proyecto G. Servicio de atención al cliente con impaciencia.***

Utilizar el simulador para estudiar el comportamiento de un sistema de atención al cliente con tres líneas y dos operadores. El proceso de llegada sigue una distribución de Poisson, y la duración de las llamadas sigue una distribución exponencial negativa, con valor medio  $T_S = 1$  min. Se asume además que cuando un cliente espera puede decidir finalizar la llamada (colgar), tras un tiempo que se establece según una variable aleatoria exponencial negativa, con media  $\gamma^{-1} = 30$  s. Si transcurriera ese tiempo antes de que su llamada fuera atendida por un operador, abandonaría el sistema. Representar las probabilidades de bloqueo y de pérdida, así como el tiempo medio de espera, en función de  $\lambda$ . Utilizar el Problema 27 en [†] como referencia, para comprobar la validez de los resultados obtenidos.

[†] R. Agüero. *Tema 3 Redes de Comunicaciones: Teletráfico. Colección de Problemas*. Disponible en [ocw.unican.es](http://ocw.unican.es)

## **Anexo: Asignación parámetros M/M/ $\infty$ y proyecto por grupo**

Grupo	$\bar{\lambda}$ pkt/s	$\bar{T}_S$ ms	Proyecto
1	10	100	A
2	20	100	B
3	30	50	G
4	80	50	F
5	40	50	E
6	40	50	D
7	40	50	C