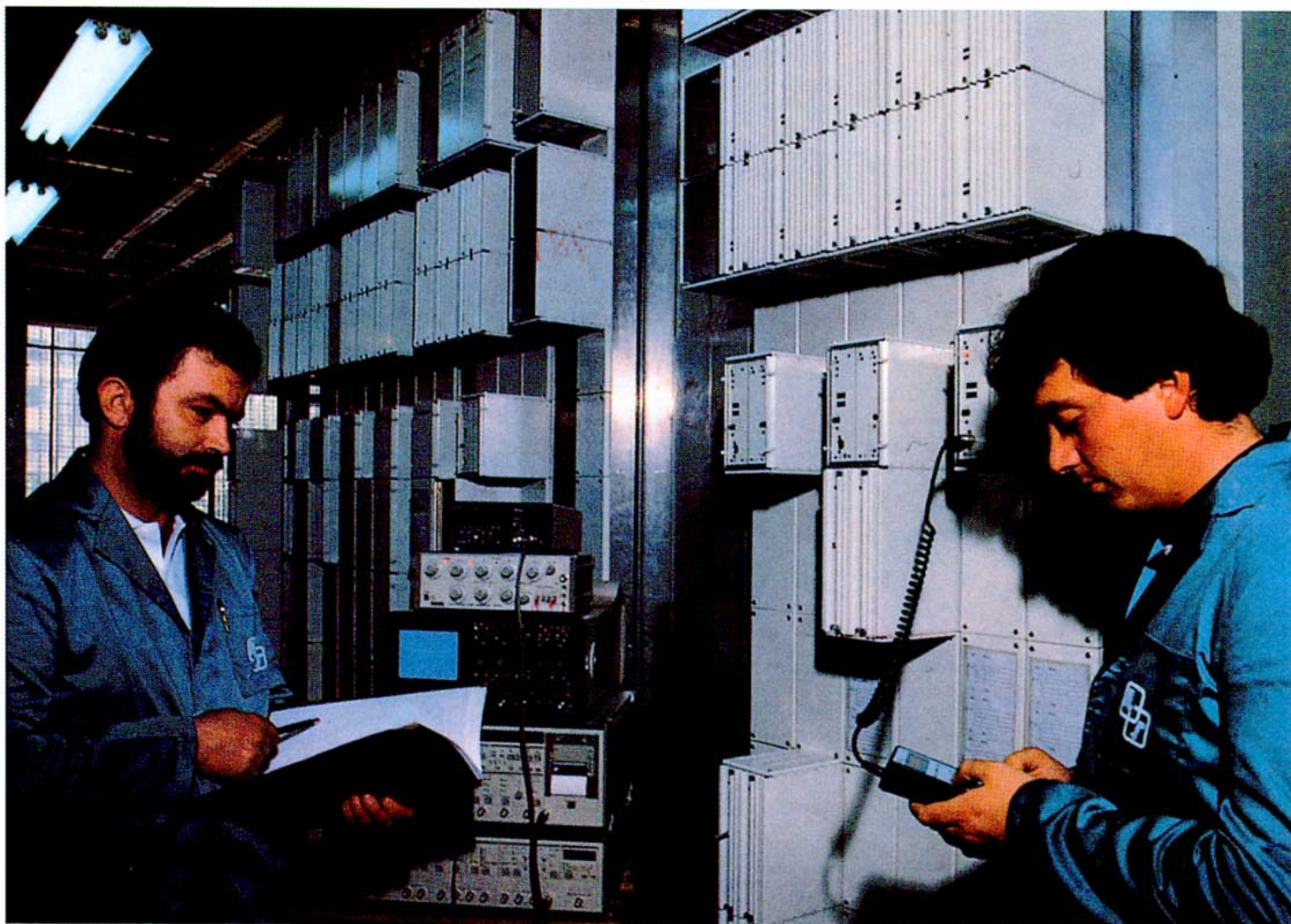




La simulación aplicada a la evaluación de sistemas de telecomunicación

❖ *L. Bermejo Sáez y M. Villén Altamirano*

Los métodos de simulación en el entorno a las Telecomunicaciones surgen como una herramienta útil a partir de la década de los 60. Los estudios sobre capacidad de tráfico de los Sistemas Telefónicos han sido decisivos impulsores del uso de la Simulación.

De forma genérica una Red de Telecomunicación se compone de: Usuarios (generadores de

tráfico), Red de Acceso, Nodos de Conmutación (Centrales), Sistemas de Transmisión y Red de Enlaces entre nodos. En este contexto la simulación ha sido aplicada para estudiar comportamientos y evaluar prestaciones de Redes completas o de los sistemas que las componen. Más aún, el uso de modelos de simulación se ha extendido a casi todos los sistemas y aspectos

funcionales de las redes de comunicación, desde los Nodos de Conmutación (sistemas de analógicos y digitales) y sus correspondientes Unidades de Control, hasta la planificación de las Redes Conmutadas y el análisis de Redes de Area Local.

El diseño y análisis de prestaciones de los sistemas de Telecomunicación exige el desarrollo de modelos complejos. Estos modelos y sus correspondientes soluciones pueden ser alcanzadas a partir de diferentes planteamientos:

- modelación y resolución analítica, o
- modelos de simulación.

Las soluciones de los modelos analíticos proporcionan relaciones explícitas (resolución analítica) o implícitas (soluciones numéricas) entre los parámetros que necesitamos obtener y las variables entrantes al modelo. Sin embargo, en ocasiones, los procedimientos analíticos sólo pueden resolver un modelo muy simple del sistema real y en consecuencia, las simplificaciones del modelo acaban alejándolo del funcionamiento real del sistema. El uso de la simulación por ordenador permite una modelación más detallada del sistema. Por otra parte, frente a medidas realizadas sobre una maqueta, la simulación tiene la ventaja de poder evaluar el comportamiento del sistema y estudiar distintas alternativas antes de tener el producto, con lo cual se puede influir en el diseño del mismo.

La construcción de una simulación por ordenador, de un sistema de telecomunicación o un subsistema del mismo, se realiza considerando los agentes externos al sistema (modelo de tráfico) y la funcionalidad del propio sistema (modelo funcional). El **modelo de tráfico** recoge, mediante leyes estadísticas, los aspectos relativos al comportamiento de las fuentes de tráfico (ej: abonados) y del entorno (red circundante) en que va a trabajar el sistema. El **modelo funcional** refleja las funciones del sistema que son relevantes para los objetivos que se desean alcanzar con el estudio por simulación.

El modelo funcional es realmente una reproducción del sistema por medio de lenguajes de ordenador, lo cual teóricamente no ofrece dificultad, sin embargo, en la práctica el grado de detalle del mismo está limitado por el coste de desarrollo y explotación de la simulación, por lo que habrá de reproducir sólo aquellos aspectos que más van a impactar en los resultados. El modelo de tráfico, por el contrario, es una modelación estadística del comportamiento de las fuentes y del entorno, basada en hipótesis sobre dicho comportamiento. La adecuada selección de los aspectos relevantes del modelo funcional y de las hipótesis del modelo de tráfico

es determinante de la fiabilidad de los resultados de simulación.

Tipos de modelos de simulación

A continuación se describen brevemente los tipos de modelos de simulación que se definen según el sistema a modelar y su evolución respecto al tiempo.

- En base a la variable tiempo:

Modelo Estático: Representa un sistema en un instante particular del tiempo.

Modelo Dinámico: Representa un sistema que evoluciona con el tiempo.

- En base a las variables utilizadas:

Modelo Determinístico: Cuando la simulación no precisa del uso de variables aleatorias para representar los cambios que se producen en el sistema real.

Modelo Estocástico: Cuando la simulación precisa de una o más variables aleatorias para modelar el comportamiento de las fuentes de tráfico o del entorno.

- En base a la evolución del sistema a lo largo del tiempo:

Modelo Continuo: Representa un sistema que evoluciona de forma continua a lo largo del tiempo.

Modelo Discreto: Representa un sistema que evoluciona de forma discreta en el tiempo. Los instantes de tiempo en los que cambia el Sistema son precisamente los que deben considerarse en la construcción de la simulación.

Las simulaciones en el entorno de las Telecomunicaciones corresponden principalmente a Modelos que son Discretos, Dinámicos y Estocásticos, denominados "Modelos de Simulación de Sucesos Discretos". Un modelo simple es el de un sistema de espera (ver fig. 1) formado por un centro de servicio (p.e., un microprocesador) y un centro de espera (p.e., la memoria asociada al microprocesador). El modelo de tráfico representaría estadísticamente como las peticiones de servicio (p.e., paquetes de datos) llegan al sistema, y el modelo funcional se construiría por medio de una Cola (memoria) que ofrece los paquetes al servicio en el orden de llegada (cola FIFO) y un centro servidor cuya ocupación (tiempo de proceso de un paquete de datos) varía aleatoriamente.

Parámetros relacionados con las prestaciones del sistema, son el tiempo de espera de un paquete en la memoria o la probabilidad de que un paquete se pierda por encontrar llena la memoria. La obtención de parámetros de este

"Las simulaciones en el entorno de las Telecomunicaciones corresponden principalmente a Modelos que son Discretos, Dinámicos y Estocásticos"

tipo suelen ser el objetivo principal de la simulación por ordenador.

Para estimar dichos parámetros, las siguientes variables deben ser consideradas en el modelo:

a: Estado del servidor: LIBRE u OCUPADO.

b: Número de Paquetes esperando en la cola para ser servidos (procesados).

c: Tiempo de llegada de cada Paquete al sistema (aparece en la cola).

La variable **a** servirá para determinar, si un *paquete que llega* puede ser servido inmediatamente o debe ponerse en cola.

La variable **b** servirá para determinar, a la *lle-*

gada de un paquete si hay sitio libre en la memoria, y al *final del servicio*, si el servidor queda libre o empieza a servir el primer paquete de la cola. La variable **c** servirá para calcular la espera en cola (w) de cada paquete: $w = \text{tiempo en que comienza a servirse} - c$. Este cálculo forma parte de un aspecto fundamental de un modelo de simulación: la Toma de Estadísticas.

En el ejemplo se aprecian dos tipos de sucesos, "la llegada de un paquete" y "el final del servicio" que evidentemente cambian el estado del sistema en aquellos instantes discretos de tiempo en que ocurren.

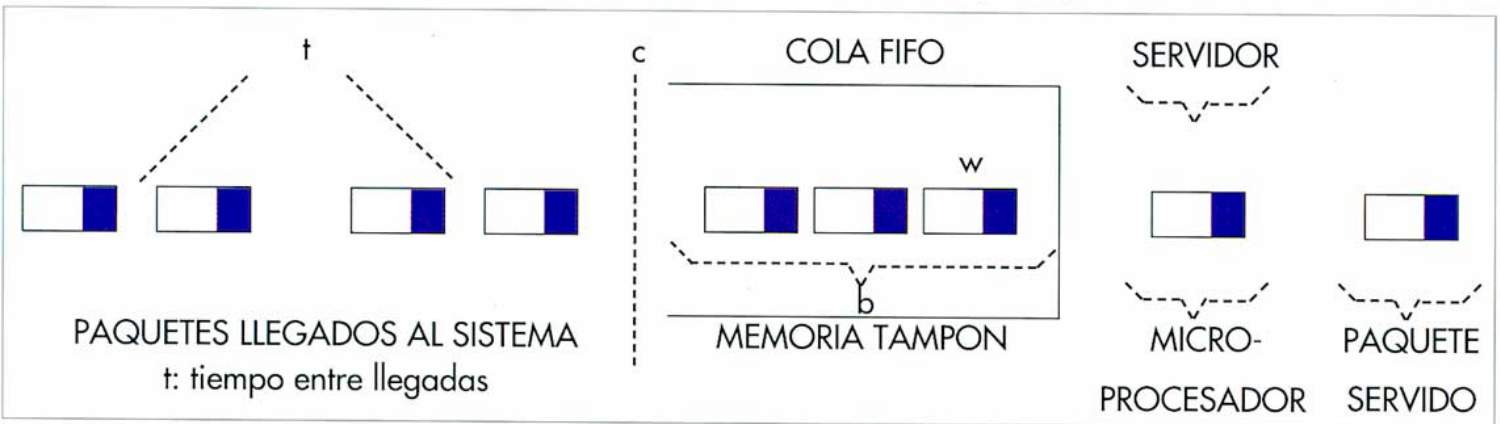


Figura. 1 Representación Gráfica del Modelo de Simulación

COMUNICARSE ES COMO RESPIRAR.

La simulación consistirá en la sucesión concatenada de sucesos de uno u otro tipo. El orden en que se producen estos sucesos se controla mediante la previsión del instante de su ocurrencia y mediante el llamado módulo de "control de reloj".

La previsión se puede realizar así: en cada suceso "llegada de un paquete" se prevé (se determina aleatoriamente según alguna ley estadística) el tiempo de llegada del siguiente, y cada vez que comienza un servicio se prevé el correspondiente "fin de servicio". El módulo de "control de Reloj" averigua qué suceso de los previstos debe ocurrir antes, hace avanzar el reloj de la simulación (que marca el tiempo real simulado del sistema) y da control al módulo que trata dicho suceso.

El tiempo real simulado del sistema no tiene una relación directa con el tiempo de ejecución de la simulación en el ordenador, pues este último depende de la velocidad del propio ordenador y no del tiempo entre sucesos del sistema real.

Lenguajes de simulación y paquetes Software

Para la construcción de los modelos de simulación por ordenador se usan desde lenguajes de propósito general hasta paquetes software diseñados especialmente para Simulación de tipos específicos de Sistemas o Redes de Telecomunicación. Una posible clasificación podría ser la siguiente:

Lenguajes de **propósito general** usados en simulación:

- C, FORTRAN, PASCAL
- MODULA, ADA

Paquetes **específicos** para simulación de:

• **Redes de Comunicaciones:**

- COMNET II.5 (CACI)
- NETWORK II.5 (CACI)
- TOPNET (*)
- MOSAIC (Univ. Karlsruhe-Alemania)
- DDPSIM

/ **Redes de Area Local:**

- NBS (National Bureau of Standards-USA)

CADA DIA, SIN DARTE CUENTA, LO HACES MILLONES DE VECES.

CADA DIA, SIN DARTE CUENTA, LAS PALABRAS
BROTAN DE TI. MILLONES Y MILLONES. CADA
DIA, TAMBIEN, ERICSSON ESTA AHI, ATULADO,
PONIENDO AL SERVICIO DE LA COMUNI-
CACION TODOS LOS MEDIOS TECNICOS Y
HUMANOS: DECENAS DE MILES DE PERSONAS



TRABAJANDO, CENTRALES TELEFONICAS,
CENTRALITAS, TELEFONOS MOVILES, SOFISTI-
CADOS SISTEMAS Y REDES A LO LARGO Y
ANCHO DEL MUNDO ENTERO. AUNQUE, COMO
EL AIRE QUE RESPIRAS, CADA VEZ QUE LOS
UTILIZAS NO SEAS CONSCIENTE DE ELLO.



- LANNET II.5 (CACI)
- Lenguajes **orientados** a Simulación:
 - GPSS (IBM)
 - SYMScript II.5 (CACI)
 - SIMULA
 - GASP IV
- **Sistemas de Transmisión:**
 - **SYSTID (*)**
 - TOPSIM III (*)
 - BOSS
- **Redes de Colas:**
 - QNAP 2 (BULL/INRIA)
 - PAW (AT&T) (*)
 - RESQ (*)

(*) Aplicaciones del mismo aparecen publicadas en el IEEE.

Los lenguajes de propósito general pueden estar complementados con librerías de simulación, como la librería SIMLIB desarrollada en la ETSIT de Madrid para el MODULA, que los hacen equivalentes a los lenguajes orientados a Simulación.

Considerando esta oferta de productos, surgen diferentes alternativas al enfrentarse a la necesidad de desarrollar una herramienta de simulación:

* Usar un paquete “software” que se ajuste a nuestro propósito particular o adaptarlo si es posible.

* Desarrollar un nuevo simulador:

- usando un lenguaje orientado a simulación
- usando un lenguaje de propósito general.

En todo caso, para adoptar una buena decisión deben considerarse todos los factores de los que dependen las prestaciones del sistema o red que se desea simular: estructura de la red, medio de transmisión, protocolos, técnicas de señalización, recursos “hardware” y “software”,

etc. Todos estos factores interactúan y se influyen entre sí y todos o parte de ellos están presentes en el diseño del simulador. Sin embargo, el nivel de detalle con que son simulados depende fundamentalmente de los objetivos a alcanzar.

La simulación en sistemas de conmutación

La necesidad de simular los aspectos funcionales y subsistemas que conforman un equipo de conmutación se centra en conocer la respuesta del sistema ante diferentes situaciones (propias y del entorno). Así, la simulación aparece ligada al desarrollo de un sistema, como *soporte al diseño* y como herramienta para establecer reglas de *dimensionado* del mismo.

Soporte al diseño: En este caso su uso se centra en:

- Analizar el comportamiento de diferentes alternativas planteadas por los diseñadores; por ejemplo, diferentes arquitecturas de un subsistema, distintos diseños de un elemento de conmutación, etc.
- Optimizar algunas partes de un sistema de conmutación con objeto de maximizar su capacidad.
- Evaluar el grado de servicio del sistema simulado (retardos, congestiones, etc.).

Ejemplos de objetivos buscados en simulaciones recientes son:

- Evaluar la respuesta de distintas Estrategias de Control de Sobrecarga de los sistemas digitales con control distribuido[1].
- Calcular el tamaño necesario de las memorias asociadas a los futuros conmutadores de Banda Ancha actualmente en desarrollo[2].
- Evaluar los diferentes mecanismos de control de flujo y cuantificarla ganancia de los Multiplexadores Estadísticos asociados a la futura Red de Banda Ancha.

Soporte al dimensionado:

En este caso la simulación es “explorada” mediante un plan de simulaciones ordenado, de forma que obtengamos, a través del mismo, una relación entre diferentes niveles de tráfico ofrecido al sistema y número de recursos a equipar (microprocesadores, equipos terminales, módulos de conmutación, etc.). Esta relación queda fijada a través del cumplimiento del Grado de Servicio exigido al sistema simulado (probabilidades de pérdida, tiempos de espera, etc.).

Ejemplos de Sistemas que se han simulado en España son el Pentaconta, Metaconta y Sistema 12, simulados en Alcatel-SESA, y el Sistema Tesys B cuya simulación se ha realizado en Telefónica I+D.

La simulación en las Redes de Comunicaciones

Con menor o mayor grado de detalle, la herramienta de simulación es usada en el análisis de prestaciones de las redes de comunicación públicas o privadas.

Red Pública de Conmutación de Circuitos

El ejemplo corresponde a un modelo de simulación descrito en [3]. En este caso la simulación desarrollada en Telefónica I+D se ha utilizado para evaluar el impacto de diversos algoritmos de encaminamiento dinámico en las prestaciones de la Red Telefónica de España, dentro de los estudios que se están llevando a cabo para elegir el nuevo encaminamiento. En

la simulación se consideró la arquitectura hacia la que va a evolucionar la Red (figura 2).

La simulación permitió analizar el impacto en la probabilidad de bloqueo de las siguientes opciones:

— Preselección centralizada y selección local del camino a elegir, o sólo selección local.— Selección tipo secuencial, alternando o DAR.

— Posibilidad de reintentos desde la central anterior en caso de bloqueo.

— Distintos mecanismos de reserva dinámica de enlaces.

En el estudio se analizaron diversas situaciones en las que se podía encontrar la red:

— Aparición de sobrecargas temporales, en toda o parte de la red.

— Situaciones permanentes de sobrecargas totales o parciales.

— Existencia de llamadas masivas.

— Fallos en rutas o nodos.

Red de Conmutación de Paquetes

En el ejemplo anterior los sucesos tratados por la simulación eran lógicamente las llamadas de los abonados que, una vez establecidas, tienen un tiempo de duración de minutos.

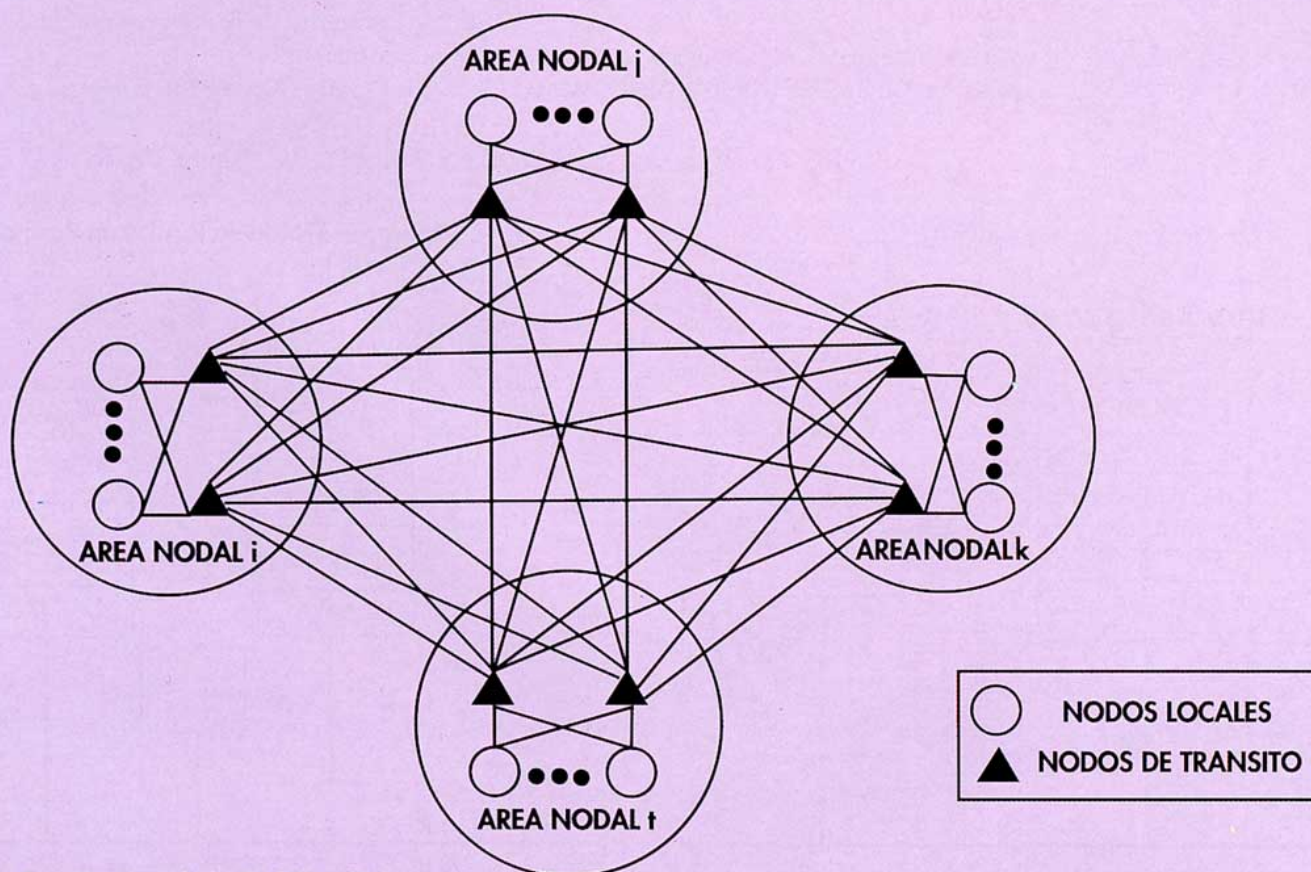


Figura. 2 Arquitectura de la Red Simulada

En las simulaciones sobre redes de conmutación de paquetes de datos pueden coexistir llamadas y paquetes, con muy diferentes niveles de resolución en el tiempo: minutos y milisegundos, respectivamente.

Este hecho puede conducir, en este tipo de modelos, a tiempos de ejecución de la simulación por encima de lo deseable, si no se optimiza el proceso de modelación.

Ejemplos de aplicación son: el modelo de simulación de Alcatel-SESA [4] utilizado para analizar una red de conmutación en modo paquete cursando diferentes tipos de tráfico, el de Telefónica I+D para optimizar el encaminamiento de la Red Iberpac y el de la ETSIT de Barcelona para evaluar el previsible comportamiento de la Red de Voz y Datos de los JJOO de 1992.

Redes de Area Local (RAL)

Normalmente este tipo de redes interconectan ordenadores (PC's o Estaciones de trabajo), comparten recursos (impresoras, plotters, etc.) y comparten información (paquetes software).

Así, los tres componentes principales de una RAL son:

- El medio de transmisión (cable coaxial, enlace de microondas, fibra óptica).
- Los equipos (servidores, PC's, impresoras, etc.).
- Los interfaces entre equipos y medio de transmisión (Control de Acceso al Medio: MAC).

Existen diferentes tipos de RAL's según la configuración, el protocolo de comunicación entre nodos, el medio de transmisión, etc. La aplicación de la simulación trata de analizar este tipo de redes desde el punto de vista de capacidad y de evaluar las diferentes opciones y mecanismos incluidos en los protocolos de comunicación establecidos en ellas. Como ejemplo pueden citarse las aplicaciones del simulador desarrollado por el NBS-EEUU "National Bureau of Standards-U.S." para la evaluación de prestaciones de las redes CSMA/CD (IEEE 802.3) y "Token-Passing Bus" (IEEE 802.4) [5].

La figura 3 muestra el esquema de una aplicación del simulador realizada con objeto de evaluar la capacidad de una RAL con Paso de Testigo (IEEE 802.4), constituida por un conjunto de Nodos Colectores, que recogen los datos ofrecidos por ciertos sensores y los envían a un nodo de la propia RAL que formatea y presenta la información a un observador que controla y vigila el sistema de sensores.

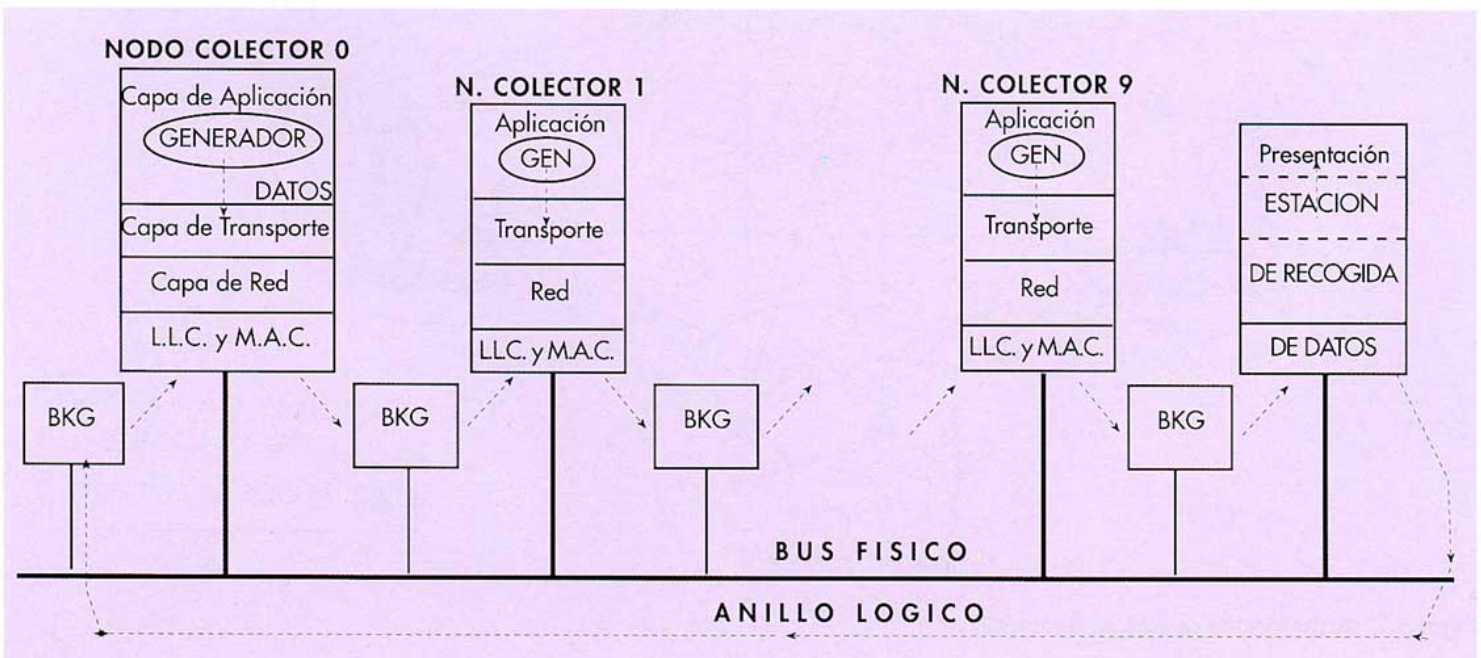
El análisis de un adecuado conjunto de casos simulados permitió deducir los siguientes parámetros de dicha RAL:

- Tráfico medio (medido en Kbit/s) que pueden ofrecer cada nodo colector a la RAL,
- Tamaño máximo permisible de los paquetes de datos (octetos/paquete), y
- Potencia de proceso mínima necesaria del nodo formateador.

En España (Alcatel-SESA) se ha aplicado este

BKG: Nodos de Carga adicional del Sistema. LLC: Control Lógico de la Conexión.
MAC: Control de Acceso al Medio.

Figura.— 3 Modelo R.A.L. con Paso de Testigo



simulador para la evaluación de la RAL equipada en la futura estación espacial COLUMBUS.

La simulación en el I+D de los productos de banda ancha

El uso de la simulación en el desarrollo y soporte al diseño de los Sistemas de Conmutación, Transmisión y Control de la futura Red de Banda Ancha [6], presenta problemas específicos de modelación y ejecución que suponen un reto para la Investigación e Ingeniería de dichos sistemas. El principal problema se plantea por los extremadamente bajos valores que exigen a las prestaciones de dichas redes. Por ejemplo, la probabilidad de perder un paquete de datos (célula) debe ser inferior a 10^{-9} (en ciertas partes de la red, inferior a 10^{-11}). Es evidente que para alcanzar probabilidades tan pequeñas, en los resultados estadísticos de una simulación, sería preciso generar miles de millones de células con objeto de perder un número de ellas que dé confianza a los resultados; en consecuencia, la ejecución de la simulación podría durar meses.

Con objeto de soslayar este problema, se han utilizado métodos de extrapolación a partir de los resultados obtenidos en puntos alcanzables (10^{-5} - 10^{-6}), pero en cualquier caso, sólo "técnicas de aceleración de simulaciones de sucesos infrecuentes" conseguirán en el futuro inmediato obtener resultados estadísticos de simulación que midan las prestaciones de un sistema de banda ancha con un adecuado nivel de confianza. En este sentido el Método RESTART [7], desarrollado por Telefónica I+D, ofrece un futuro prometedor.

Referencias:

- [1] "An Overload Control Strategy for Distributed Control System". M. Villén Altamirano, G. Morales Andrés and L. Bermejo Sáez. Actas del 11º Congreso Internacional de Teletráfico. Kyoto, septiembre 1985.
- [2] "Queueing Models Applying to a Class of ATM Multiplexers". A. Guerrero and F. Lozano. Actas del 13º Congreso Internacional de Teletráfico. Copenhagen, junio 1991.
- [3] "A comparative study of several dynamic routing algorithms with adaptive preselection and selection phases". E. Granel, J.L. Martínez Dalmau et al.

Actas del 13º Congreso Internacional de Teletráfico. Copenhagen, junio 1991.

- [4] "Global Simulation for Packet Mode Network Analysis". O. González Soto and M.J. Martínez Sarandeses. Actas del 3º Simposio Internacional de Planificación de Redes "Networks-86". Florida, EEUU, 1986.
- [5] "An IEEE 802.4 Token Bus Network Simulation". Jean-Luc Archambault. National Bureau of Standards. Institute for Computer Sciences and Technology. 1984. NBSIR 84- 2966.
- [6] "Soporte de la Ingeniería de Tráfico a los Productos de Banda Ancha". L. Bermejo Sáez y C. Mayoral Bengoechea. Jornadas de I+D en Telecomunicaciones. Madrid, noviembre 1991.
- [7] "Método RESTART para acelerar Simulaciones de Sucesos Infrecuentes". M. Villén Altamirano y J. Villén Altamirano. Comunicaciones Telefónica I+D. Vol. 2, diciembre 1991.



L. Bermejo Sáez

Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha trabajado en el Grupo de Tráfico del Centro de Investigación de Alcatel Standard Eléctrica, S.A., dedicándose a estudios de tráfico de los Sistemas de Banda Ancha (MTA) de Alcatel. Actualmente trabaja en la División de Consultoría de ISDEFE, S.A., trabajando en actividades relacionadas con el Plan Nacional de Banda Ancha



M. Villén Altamirano

Ingeniero de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid. Ha dirigido el Grupo de Tráfico del Centro de Investigación de Alcatel Standard Eléctrica. Actualmente dirige la División de Tráfico y Prestaciones de Telefónica I+D. En el CCITT preside el Grupo de Expertos encargado de las Recomendaciones sobre Ingeniería de Tráfico en la RDSI.