

# Control de Tráfico en Redes de Alta Velocidad: Caso ATM

José Luis Marzo Lázaro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departament d'Electrònica, Informàtica i Automàtica. Escola Politècnica Superior.  
Universitat de Girona. Avda Lluís de Santaló s/n. 17003 Girona. España  
marzo@cia.udg.es

**Resumen.** El control de tráfico en las redes de transmisión de datos actuales presenta ciertos problemas cuando se aumenta la distancia y la velocidad de trabajo. El producto velocidad - retardo de las conexiones es grande, y provoca que las típicas estrategias de control de tráfico basadas en los mecanismos más conocidos pierdan eficacia respecto a su utilización en redes de baja/media velocidad. En este documento se presentan los problemas del control de algunas redes existentes, y su migración hacia mecanismos de control de tráfico basados en el control de emisión en origen, control de aceptación de conexiones y algunas otras técnicas de control de tráfico en redes de alta velocidad. Estos aspectos se desarrollan de manera particular para la red de transporte en el modo de transferencia asíncrono (ATM). La red ATM permite el transporte de diferentes tipos de tráfico, y aplica a cada uno de ellos los mecanismos de control más adecuados.

## 1 Introducción

El objetivo de este documento es el de mostrar de forma relacionada diferentes mecanismos de control de tráfico utilizados en tecnologías de red diferentes, utilizados en niveles de protocolo diferentes y en diferentes entornos. No se pretende un desarrollo detallado de dichos mecanismos, ni una enumeración completa: existe una excelente bibliografía donde se muestran todos ellos con gran detalle. El principal objetivo es mostrar un conjunto de reflexiones alrededor un nexo común: el control de tráfico en redes de comunicaciones y su relación con las redes de alta velocidad. A través de la presentación de dichos mecanismos se incidirá en sus debilidades cuando se aumenta la velocidad de las redes, la longitud de sus canales, o ambas cosas. También insistiremos en el punto débil, sea el protocolo, sea el tamaño de los paquetes, etc.

El término 'alta velocidad' es relativo. En los años 70, una línea de datos dedicada de 4800 bps era considerada de 'muy' alta velocidad. Hoy en día (1999) enlaces de redes metropolitanas de 2 Mbps o superiores, y redes de área local de 10 (incluso 100) Mbps son normales. En cambio los mecanismos de control y gestión de estas redes son incapaces, o cuando menos simplemente ineficientes, para conseguir objetivos similares en redes de mayor velocidad. Aquí es donde aplicaremos el término 'alta

velocidad', es decir aquella velocidad para la cual se requieren nuevas técnicas de gestión y control de la red que la soporta.

Podemos decir sin equivocarnos que el progreso de las tecnologías de la transmisión de información tiene pocos campos de la tecnología que lo puedan igualar. El aumento de las prestaciones de los sistemas de comunicación de datos es realmente espectacular, de varios ordenes de magnitud en los últimos años. Los factores clave de este progreso son: a) el uso universal de la tecnología digital en las redes públicas de telecomunicaciones, b) la madurez de la fibra óptica como medio de transmisión de alta capacidad, y c) la adopción universal de algunos protocolos (CSMA/CD-*ethernet*, o TCP/IP), estando actualmente por delante en sistemas de larga distancia de otras tecnologías. En la tabla 1 se presenta un resumen en forma de cuantitativa y cualitativa de algunos aspectos indicados. Conviene tener en cuenta que los datos numéricos son orientativos, siempre encontraremos excepciones que los cuestionen, pero que no desvirtúan el objetivo de comparar los dos tipos de red.

Tabla 1. Evolución de las redes.

|                         | Velocidad estándar            | Alta velocidad                            |
|-------------------------|-------------------------------|---|
| Paquetes por segundo    | Miles                         | Millones                                  |
| Ancho de banda          | 64 Kbps – 2 Mbps              | 150-620 Mbps                              |
| Asignación de banda     | Fija                          | Dinámica                                  |
| Tipos de tráfico        | Datos (voz)                   | Multiméda                                 |
| Retardo por conmutación | 20-50 ms                      | 10 ms                                     |
| Retardo por propagación | Insignificante                | Significante                              |
| Control de errores      | Enlace a enlace               | Extremo a extremo                         |
| Cuello de botella       | Ancho de banda de los enlaces | Capacidad (ancho de banda) de conmutación |

En redes de comunicaciones de alta velocidad el producto velocidad-retardo de las conexiones es grande. Esto provoca que los controles de congestión basados en el mecanismo de ventana pierdan eficiencia respecto a su utilización en las redes de baja/media velocidad.

De manera intuitiva, podemos apreciar que el gran valor del producto velocidad - retardo, requiere un gran tamaño de ventana para que sea efectivo el protocolo de retransmisiones. Sin embargo, el receptor de información no puede controlar la gran cantidad de paquetes que almacena la red. Es el caso de un nodo de la red con una gran cantidad de paquetes en las colas, o en el caso de la red ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), simplemente las celdas que se encuentran viajando por los enlaces. Así, parece que lo más razonable es el control de la velocidad de emisión en origen, perdiendo de alguna manera el *feedback* del estado de la red. Este es un caso claro de muchas de las clases de tráfico de ATM. Otro aspecto clave es el control de admisión de nuevas conexiones, este mecanismo si tiene en cuenta el estado de la red para admitir únicamente el tráfico que puede transportar en condiciones óptimas, o como mínimo las garantizadas a los usuarios.

Para saber los recursos que requiere una nueva conexión en la red, aparece toda una compleja disciplina del cálculo analítico de este tipo de sistemas, los estudios de modelos de tráfico, ciertamente complicados, o la utilización de técnicas de simulación o de toma de medidas en redes existentes. En definitiva, este es un campo abierto todavía y sin soluciones generales.

## El problema de la congestión

Todos tenemos una idea intuitiva de lo que es un sistema de comunicaciones en estado de congestión, pero es difícil definir de manera clara ese estado. Con el único ánimo de establecer algunas consideraciones sobre el término 'congestión' dedicaremos una breve introducción a este aspecto.

Está claro que la congestión ocurre en situaciones de alta carga de tráfico en la red. Así la definición de congestión debe incluir aspectos del comportamiento de la red en esa circunstancia. Comenzaremos por introducir la congestión en redes sin reserva de recursos (es una característica común de muchas de las redes de conmutación de paquetes). En estas redes la velocidad de llegada de paquetes a la red puede exceder la velocidad de servicio<sup>1</sup> por cortos períodos de tiempo. El límite (cuello de botella) puede estar tanto en el procesador del conmutador de paquetes como en el enlace de salida, ambos pueden producir la congestión.

La consecuencia de la congestión es que los paquetes aumentan su espera en los *buffers*, y, si la ocupación del buffer supera su propia capacidad, finalmente se pierden paquetes. Finalmente, en ese estado, el sistema queda dominado por las retransmisiones; el flujo efectivo y la eficiencia de la red cae de manera drástica. Las definiciones clásicas de congestión incluyen uno o varios de esos tres aspectos (retardo, pérdidas de paquetes o caída del flujo efectivo), el problema es determinar, con esas definiciones, el punto exacto a partir del cual podemos decir que la red está en congestión. Únicamente las redes de comportamiento determinista tienen un punto bien definido de congestión en la curva retardo-carga caracterizado por un codo abrupto.

El problema es que, en general, la degradación de los mencionados parámetros afecta de forma diferente a los usuarios y/o a los servicios de la red. De manera que podemos acordar que la congestión de una red depende de la perspectiva del usuario. Tampoco es fácil definir el periodo de tiempo en el que definimos la congestión (ms, seg., min., horas, ...). La clave está en definir el concepto de 'utilidad' de la red para un usuario, la degradación de esta utilidad en términos de máximo retardo, máxima pérdida de paquetes, etc. o servicios que garanticen un conjunto cerrado de ellos (por ejemplo, un retardo máximo de 1 seg. y una transferencia de 200 paquetes por segundo, o bien un retardo de 100s y una transferencia de 100000 paquetes por seg.). En [5] y [6] podemos encontrar interesantes definiciones alternativas de congestión. Las redes que incorporan técnicas de control de congestión lo que intentan es prevenir o reducir en lo posible los efectos de la congestión en la 'utilidad' que percibe el usuario por los servicios que utiliza.

---

<sup>1</sup> La velocidad de servicio viene dada por el coste de proceso de un paquete y por la velocidad del enlace de salida.

## 2 De las redes locales a la redes de larga distancia

En éste apartado se repasan los conceptos fundamentales de las tecnologías las de redes de comunicaciones de datos más comunes y su influencia en los diferentes métodos del control de tráfico.

### 2.1 Redes de Área Local (LAN)

Consideramos en este apartado las redes que proporcionan la interconexión entre una serie de dispositivos en un área geográfica reducida. Dentro de redes de área local podemos encontrar tecnologías con velocidades desde 0.1 hasta 100Mbps, distancias hasta 25 Km. y tasas de error bajas, del orden de  $10^{-8}$  a  $10^{-12}$ .

Las tecnologías más utilizadas son las series 802.n de los estándares del IEEE. La más común es la 802.3, con topología de *bus* y control de acceso al medio CSMA/CD<sup>2</sup>, se trata de la red coloquialmente llamada *ethernet*. Otras tecnologías incluyen el concepto de *token* para controlar el acceso al medio, si la topología es en *bus* se utiliza el estándar 802.4 y si es anillo (*ring*) se utiliza el 802.5.

Imaginemos que colocando repetidores queremos aumentar indefinidamente la longitud de una red de área local basada en este principio, para convertirla en una red metropolitana, o quizás en una red de larga distancia. Ignoraremos las cuestiones tecnológicas relacionadas con la pérdida de señal, etc. y veamos con más detalle el acceso al medio CSMA/CD, como mecanismo de control de tráfico para ver sus características y sus limitaciones.

Como sabemos, el protocolo básico CSMA/CD es el siguiente:

- ‘Escuchar’ y esperar que el canal (*bus*) esté inactivo.
- Cuando se da la anterior circunstancia, transmitir y escuchar el canal simultáneamente.
- Si se detecta una colisión, esto es: la señal que se escucha no es igual a la que se envía, entonces se envía una señal de guarda (una determinada secuencia de ceros y unos) y se espera durante un período de tiempo aleatorio.

Esa es, de manera simplificada, la mecánica del método. La debilidad aparece en función del tiempo de propagación. Efectivamente la limitación de la máxima información que puede ser transmitida viene dada por el hecho de que dos estaciones inicien la transmisión simultáneamente antes de detectar que el canal está ocupado. Eso puede suceder de manera normal: imaginemos que las estaciones que se sitúan en los extremos del *bus* desean enviar un paquete, ambas detectan inactividad del canal, y emiten su secuencia de bits. Hasta que el tren de impulsos no llegue al extremo contrario, las estaciones no detectaran la colisión.

---

<sup>2</sup> CSMA/CD: *Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*

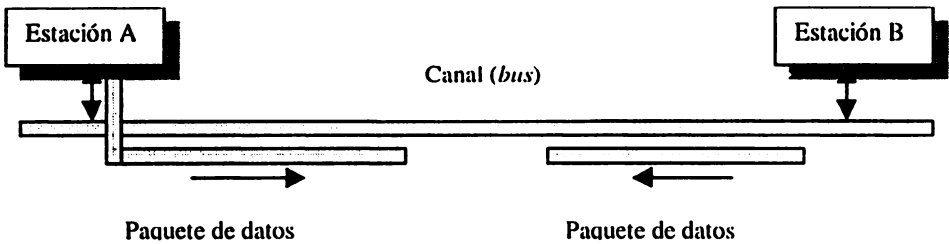


Figura 1. Colisión de paquetes. A envía un paquete hacia la B, y esta hacia la estación A.

La figura 1 presenta la situación descrita, ambas estaciones inician el envío de datos por inactividad del canal, pero cuando las cabezas de los paquetes llegan a los extremos contrarios se detectará la colisión. En la misma figura se puede observar otro efecto, si un paquete es demasiado corto, la estación emisora de ese paquete puede darlo como enviado, cuando en realidad ha habido una colisión. Si el paquete que envía la estación B, es corto, como está dibujado, la estación A detecta la colisión entre el paquete que está enviando y el que recibe de B, pero a la estación B le llega el paquete de A 'limpio', dando como buena la emisión de su paquete.

Como podemos comprobar de manera intuitiva, la probabilidad de que se de esa circunstancia depende de la relación entre la longitud del bus, y la del paquete que se envía. En la práctica se limita la distancia máxima de la red, y se fija también un mínimo de tamaño de paquete para asegurar la detección de las colisiones.

Admitiremos la siguiente expresión para el cálculo de la máxima utilización de una red de área con control de acceso CSMA/CD

$$MaxUtil = \frac{1}{1 + 6.44\rho} \quad (1)$$

Donde  $\rho$  es la relación entre el retardo de propagación extremo a extremo de la red y el tiempo de transmisión de un paquete. Esta relación puede ser evaluada por :

$$\rho = \frac{d/c}{l/v} \quad (2)$$

Donde  $d$  es la longitud del canal,  $c$  es la constante de propagación de la señal eléctrica (se aproxima a la velocidad de la luz),  $l$  es la longitud del paquete y  $v$  la velocidad del canal (la podemos considerar constante para una tecnología determinada).

La Figura 2 presenta una red con control CSMA/CD de velocidad 100 Mbps, en función de la longitud del canal de 0 a 2000 m, variando las longitudes de los paquetes de 100 a 10000 bits.

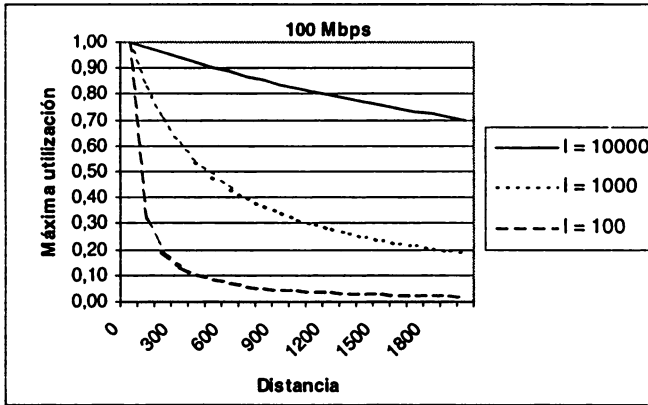


Figura 2. Gráfica de la máxima utilización de una red.

Como podemos observar en la figura, la utilización se reduce cuando aumenta la distancia, cuando disminuye el tamaño del paquete, y, aunque no hemos incluido gráficas, también cuando aumenta la velocidad de transporte del canal. Es decir, disminuye la efectividad para redes de alta velocidad para áreas extensas.

Merece un comentario aparte la cuestión del tamaño del paquete, aparentemente con aumentarlo conseguiríamos trabajar con la misma tecnología, pero el problema es el retardo. En efecto, la transmisión de paquetes de gran tamaño es eficiente desde el punto de vista de la eficacia en bits por segundo, pero añade un retardo muy alto para servicios interactivos o en tiempo real. El retardo aparece porque la información no puede ser procesada hasta que llega la totalidad del paquete, recordemos aspectos como control de errores (*checksum*), etc. Como veremos posteriormente, la reducción del tamaño del paquete es una tendencia de las nuevas tecnologías de comunicaciones de datos.

Otras alternativas de tecnologías de redes de área local como *Token Bus* (IEEE 802.4) y *Token Ring* (IEEE 802.5) menos utilizadas pero igualmente bien conocidas, se basan en un control al medio basado en el control de un paquete 'testigo' o *token*, que da la posibilidad de transmitir. Los mecanismos de control son complejos, especialmente en relación a CSMA/CD, pero la eficiencia de los protocolos aumenta con la carga, al contrario que en CSMA/CD donde aumentos de la carga provocan caídas espectaculares del rendimiento (aumentan las colisiones rápidamente). Un inconveniente es que con bajas cargas tienen un mayor retardo. A su favor, podemos decir que permiten el transporte de paquetes de pequeño tamaño, la implementación de prioridades, y un control más determinista del tráfico que en CSMA/CD. En esta línea presentaremos a continuación las tecnologías existentes de redes metropolitanas en el camino a las redes de alta velocidad.

## 2.2 Redes metropolitanas

La necesidad de interconexión entre diferentes redes de área local, pertenecientes a la misma corporación o empresa, en un área geográfica restringida, provoca la mejora de las conexiones punto a punto como solución<sup>3</sup>.

### FDDI

Una de las redes de interconexión más populares es FDDI (*Fiber Distributed Data Interface*). Describiremos brevemente las características de esta red y en particular los aspectos relativos al control de tráfico.

FDDI es una tecnología de red basada en la utilización de la Fibra Óptica multimodo como medio de transmisión<sup>4</sup>. Tiene una topología en doble anillo<sup>5</sup> y utiliza la técnica de la posesión del *token* para acceder al medio. Trabaja a 100 Mbps, la máxima distancia de las fibras es de 200 Km., admite hasta 500 estaciones con una distancia máxima entre nodos de 2 Km. Además, soporta tráfico síncrono y asíncrono. Sobre el tráfico síncrono puede transmitir tráfico sensible al tiempo (por ejemplo voz y vídeo). El tráfico asíncrono es el típico para transacciones de paquetes de datos, transferencia de ficheros, etc.

Omitiremos el resto de detalles de la tecnología FDDI, variaciones de la topología de anillo, bloques de control de acceso al medio físico, interfaces, codificación de bits y cabeceras, para centrarnos en el control del tráfico que soporta FDDI. La clave para comprenderlo es la noción del TTRT (*Timed Token Rotation Protocol*) este es un valor negociado durante la inicialización de la red, y que conocen todas las estaciones. El TTRT es un indicador del tiempo de que dispone el *token* para realizar una circulación completa a plena carga. El valor del TTRT queda limitado por la siguiente expresión:

$$D_{max} + F_{max} + TokenTime + \sum_i SA_i \leq TTRT \quad (3)$$

Donde  $D_{max}$  es el tiempo de propagación para un ciclo completa del anillo (latencia),  $F_{max}$  es el tiempo requerido para transmitir un paquete de longitud máxima (4500 bytes),  $TokenTime$  es el tiempo necesario para transmitir un *Token*, y finalmente una parte importante,  $SA_i$  corresponde a reserva de banda para tráfico síncrono que reserva cada estación, expresado en términos de tiempo. El valor de TTRT puede ser fijado entre 4 y 165 ms, diferentes estudios recomiendan valores alrededor de 8 ms. Cada estación tiene sus contadores particulares para saber el tiempo de que dispone para enviar información. Para ello compara el valor de dichos contadores con el valor de TTRT en el momento en el que le llega el *Token*. Con este mecanismo se consigue asegurar una banda para tráfico síncrono en cada estación, y aprovechar al máximo el resto de la banda disponible entre todas las estaciones.

<sup>3</sup> Las conexiones punto a punto continúan su utilización para larga distancia y baja velocidad o una alta ocupación media.

<sup>4</sup> Actualmente hay estándares que permiten el uso de cable de par trenzado como medio de transmisión de FDDI.

<sup>5</sup> Un anillo primario se utiliza en situación normal, el segundo anillo (secundario) se utiliza como sistema de seguridad en caso de caída del primario.

Desde el punto de la eficiencia de las redes FDDI, el factor determinante es la relación entre la latencia del anillo y el valor elegido de TTRT. Si la red es pequeña, en longitud y en cantidad de estaciones, el valor de TTRT permite que todas tengan el *Token* relativamente a menudo, y además que se pueda reservar banda síncrona con relativa facilidad. Con el aumento de estaciones y de la distancia, la relación TTRT-latencia del anillo resulta desfavorable, y las prestaciones de la red decaen, reduciendo tanto la capacidad para repartir banda síncrona entre las estaciones como la transferencia global de información (*throughput*). Si aumentamos el valor de TTRT (más de 8 ms) aumentaremos la eficiencia, pero no podemos dar servicios en tiempo real porque el retardo resulta excesivo.

Un problema relacionado con el protocolo es el hecho de negociar un valor de TTRT para todas las estaciones de la red, eso hace difícil su utilización como red pública. Por otro lado la topología en anillo no es la más indicada para implantar una estructura jerárquica que intenta construir cualquier operador de red.

### DQDB

Un tipo de red similar en ciertos aspectos a FDDI es la red DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*), definida en el estándar IEEE 802.6. Como FDDI está orientada a la interconexión de redes de área local, está basada en un doble *bus* de fibra óptica, y soporta 'altas' velocidades de conexión, a partir de 1 Mbps. Las velocidades típicas del estándar son entre 34 y 150 Mbps. En los extremos de los *buses* se sitúan los terminales cabecera emisores de 'celdas', estas celdas (o *slots*) son de tamaño fijo (53 bytes), y se generan a velocidad constante. Los *slots* viajan en sentidos opuestos, es decir, cada terminal recibe *slots* en cada sentido, y en función de la ubicación del equipo destino, situará la información en los *slots* vacantes sobre uno de los dos flujos.

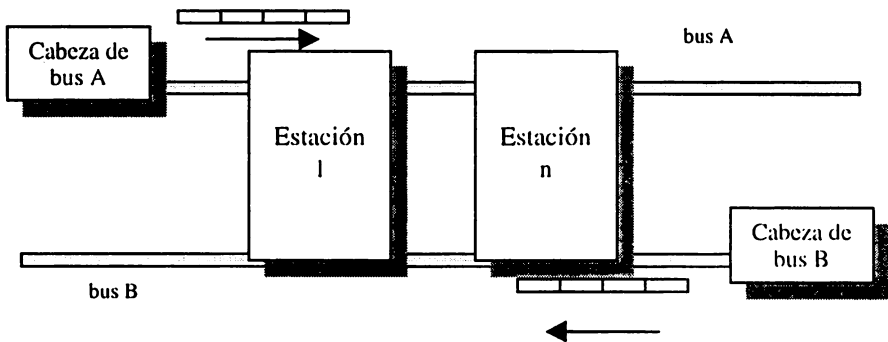


Figura 3. Topología DQDB y emisión de celdas en los buses.

Una de las innovaciones de DQDB es la reducción drástica del tamaño del paquete. Además, la celda de DQDB es la adoptada por ATM. Este mecanismo de transporte permite el envío de información isócrona, esto es a velocidad constante, y con muy poco retardo. El mecanismo de control de tráfico es un poco complejo, las estaciones piden la reserva por el *bus* de un sentido para poder enviar por el otro. Las estaciones marcan las celdas de información que viajan en sentido contrario para reservar celdas que lleguen en la dirección necesaria.



A pesar de las ventajas expuestas, DQDB adolece de un problema grave: la asignación de banda depende de la posición relativa de las estaciones en la red. Por otro lado, es difícil establecer prioridades entre los flujos de tráfico<sup>6</sup>.

### 2.3 Redes públicas de transmisión de datos de área extensa<sup>7</sup>

En este punto, describiremos brevemente el desarrollo de las tecnologías de transporte a larga distancia, que en general son gestionadas por los grandes operadores de redes públicas. Estas características caracterizan también las soluciones implementadas, tanto desde el orden más tecnológico como de la gestión y más aún de las interconexiones entre redes. En el campo que nos ocupa, la gestión y control de tráfico, es aún más determinante: las interfaces y los parámetros de tráfico han de ser comunes para usuarios de diferentes entidades (incluso de otros operadores de red), y por tanto de características diferentes. Este entorno es una restricción para los estándares, que, por ser más generales, son más rígidos y difíciles de modificar.

Como es natural dedicaremos el capítulo a las redes de conmutación de paquetes. Las redes de conmutación de circuitos no presentan dificultades específicas de control del tráfico de datos que circulan por ellas, este es el caso general de las redes de telefonía. Si hablamos de redes públicas de conmutación de paquetes, debemos empezar por la norma X.25.

#### Red clásica de conmutación de paquetes X.25

Basaremos el desarrollo de las típicas redes de conmutación de paquetes en la recomendación X.25, la cual es un conjunto de normas de comunicaciones que abarca hasta el nivel 3 de la estructura de niveles OSI. Si nos ceñimos a los aspectos de X.25 relativos al control de tráfico, veremos que la aportación es importante. La implementación más frecuente de X.25 es para el establecimiento de Circuitos Virtuales (a menudo permanentes). La red toma el control absoluto del flujo de tráfico, el control de errores, de ordenación de paquetes, incluso de empaquetar y desempaquetar la información si es necesario, simplificando la tarea de los terminales (que pueden ser extremadamente simples).

#### Control de congestión

El control de control de la congestión puede proteger la 'utilidad' que esperan los usuarios de la red de dos maneras fundamentales. La primera es mediante la reserva de recursos suficientes para que los niveles de rendimiento pactados por el usuario se puedan mantener. Este es un control activo (preventivo) o orientado a la reserva<sup>8</sup>. La

---

<sup>6</sup> DQDB es una tecnología de muy escasa implantación, la complejidad del protocolo, la existencia de FDDI, y finalmente la aparición de la tecnología de transporte ATM, han provocado su poco éxito (fracaso) comercial.

<sup>7</sup> También denominadas WAN, *Wide Area Networks*.

<sup>8</sup> Es estrictamente el caso de las redes de conmutación de circuitos (por ejemplo las redes de telefonía).

otra alternativa es permitir que los usuarios emitan información sin reserva de recursos<sup>9</sup>, pero con la posibilidad de que la red disminuya su flujo útil de paquetes (*throughput*). Los usuarios se deben adaptar necesariamente a la velocidad que la red permite. Eso sucede cuando actúan los mecanismos de control de flujo, por ejemplo los basados en ventanas<sup>10</sup>.

### Control de flujo

El control de flujo es necesario para evitar que las estaciones emisoras no saturen la capacidad de proceso (tratamiento, presentación, almacenaje, etc.) de la estación receptora. Sin el control de flujo, puede ocurrir que lleguen nuevos cuando los existentes en los *buffers* aún no han sido procesados.

### Parada y espera

La técnica más elemental de control de flujo, es la de parada y espera (*stop-and-wait*), consiste en enviar un paquete (o trama) y esperar la confirmación del mismo. De este modo si el equipo receptor desea parar temporalmente la recepción de datos, le basta con no enviar el paquete de acuse de recibo (*acknowledgment*).

En este caso solo hay un paquete en la red por cada conexión. Si los paquetes son largos en relación con la red (el tiempo de transmisión es mucho mayor que el de propagación) el método de parada y espera es difícil de mejorar.

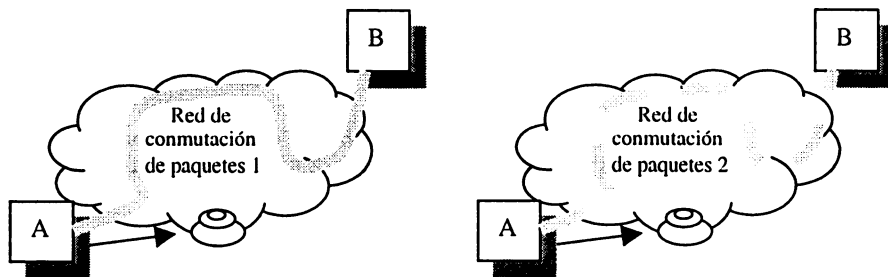


Figura 4. Redes de conmutación de paquetes. Caso 1 paquetes largos. Caso 2 paquetes cortos.

Pero cuando los mensajes se envían fragmentados en paquetes (o tramas) de menor tamaño, el mecanismo resulta ineficiente. Es habitual que se transmita en paquetes de longitud limitada. Algunas razones son las siguientes: (a) la limitación del tamaño del los *buffers* receptores, (b) para limitar los tiempos de retransmisión en caso de errores (se deben retransmitir paquetes o tramas enteras) y (c) limitar en

<sup>9</sup> Esta alternativa se puede aplicar también a las redes sin reserva de recursos (caso de las típicas redes de conmutación de paquetes X.25, IP, etc.).

<sup>10</sup> Más adelante veremos métodos de control basados en el mecanismo de ventana.

tiempo la ocupación de los canales (sean compartidos o no) para poder ofrecer servicios con cotas máximas de retardo (aplicaciones interactivas o de tiempo real).

La clave del problema del control por parada-espera está en que la red admite la transmisión de una única trama por conexión. Esto, que para protocolos de bajo nivel (2 enlace) puede resultar útil (especialmente nodo a nodo), para redes amplias y de longitud de paquete pequeño resulta inadecuado. Una solución al problema es la utilización de ventanas.

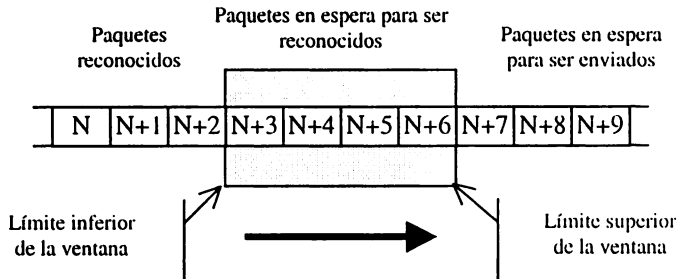


Figura 5. Control de flujo por ventana

En el control de flujo por ventana se necesita que los paquetes sean distinguibles (tienen un número de secuencia).

El control del tráfico se hace en la red nodo a nodo, ello provoca una complejidad muy alta en la gestión y en el control del tráfico. Otro factor destacable, es que X.25 nace en un momento en que la tecnología de las redes de comunicaciones era muy inestable, y las tasas de errores en los sistemas de transmisión altas.

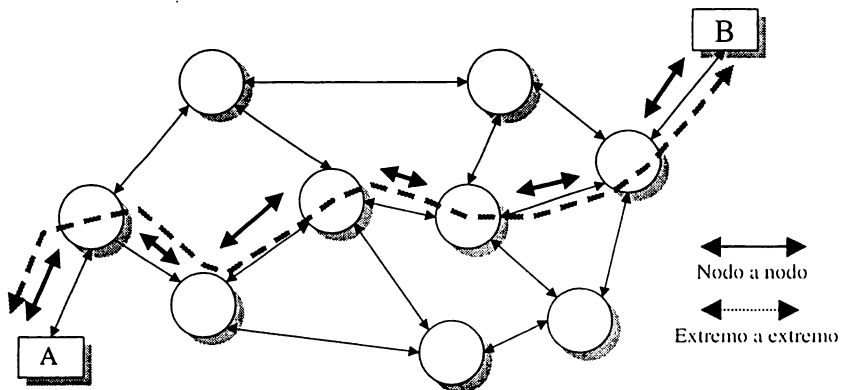


Figura 6. Control de flujo nodo a nodo / extremo a extremo.

### Frame Relay

Con el aumento de la fiabilidad de los equipos de transmisión, en gran medida por la utilización de la fibra óptica, y el aumento de la capacidad de computación de los

terminales, a menudo equipos de gran potencia, la compleja funcionalidad de X.25 resulta ineficiente y es superflua en gran medida. Parte de las funciones de red (nivel 3) se pueden realizar la capa de transporte (nivel 4), pues el usuario prefiere más velocidad y simplicidad en la red. En los casos donde no se pueden admitir errores o pérdidas de datos, las capas altas pueden resolver los problemas.

En definitiva, se pasa de un control de flujo nodo-a-nodo a un control extremo-a-extremo.

La banda de trabajo normal en FR admite desde los 64 Kbps hasta los 2Mbps

En FR se aplica un importante concepto: la banda bajo demanda (*bandwidth on demand*). La banda puede ser asignada de manera dinámica por la red.

FR elimina muchas funciones 'superfluas' de los niveles 2 y 3. Los paquetes son de longitud variable y admiten de manera natural paquetes de 1500 bytes (muy utilizados en redes de área local) mientras que X.25 utiliza paquetes de 128 a 512 bytes de manera habitual. Al reducir el proceso en los nodos, también se reduce el retardo, por ello FR admite el transporte de tráfico de voz.

### Control de flujo

FR utiliza técnicas implícitas de control de tráfico. De hecho se limita a informar a los nodos del estado de carga (o congestión) en la red. Con ello se pretende que sean los propios nodos los que reduzcan la velocidad de trabajo. A los nodos les conviene hacerlo, porque sino corren el riesgo de que una parte importante de sus tramas sea marcada como 'descartable', y por tanto susceptible de ser descartadas.

### Control de congestión.

Los paquetes de FR pueden ser marcados por los nodos con información sobre la congestión. Aunque los principios sobre el control de tráfico son premeditadamente simples en FR, cuando un sistema se acerca a un punto de carga cercano a la congestión, es decir se empiezan a perder paquetes y va aumentando el retardo, el rendimiento cae de manera muy rápida.

Se utiliza un bit en la cabecera de los paquetes FR para dar información explícita de congestión hacia delante (*forward*) y hacia atrás (*backward*) desde el punto de vista del sentido origen-destino de la comunicación.

La técnica más relevante para el control de tráfico es la utilización del mecanismo del CIR (*Committed Information Rate*). El método se basa en la determinación de una media de tráfico máxima durante un período de tiempo determinado<sup>11</sup>. Para la implementación de este concepto, se necesitan dos valores: la velocidad de tráfico contratada ( $B_c$ ) y la velocidad de ráfaga en exceso ( $B_e$ ). Ambas definen una cantidad de tráfico sobre un periodo prefijado  $T_c$ . CIR y  $B_e$  están relacionadas por:

$$CIR = \frac{B_c}{T_c} \quad (3)$$

<sup>11</sup> Este periodo de tiempo  $T$  es acordado entre la red y el usuario, por tanto perfectamente conocido por ambos.

El mecanismo funciona de una manera muy simple (en general *Frame Relay* utiliza mecanismos simples), la fuente de tráfico envía información a la red a una velocidad que puede variar entre 0 y una velocidad máxima. Si la velocidad de emisión es inferior al CIR, todo el tráfico será cursado con garantías. Si la velocidad supera ese valor, las tramas se marcan como descartables (se activa el bit DE, *Discard Eligibility*) y por tanto serán transportadas por la red en una política *best effort*, esto significa que llegaran a destino si durante el recorrido no hay congestiones importantes. Recordemos que en esa situación se servirán primero todas las tramas prioritarias, las que fueron enviadas con velocidad inferior al CIR.

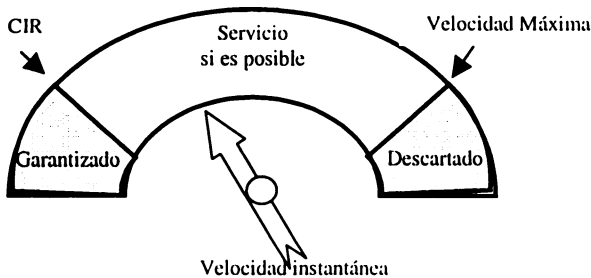


Figura 7. Control de flujo en *Frame Relay*

El inconveniente de *Frame Relay* es que está orientada a redes de larga distancia exclusivamente. Otro inconveniente es el tamaño variable de las tramas hace que el proceso de las mismas sea difícil de optimizar por los sistemas *Hardware*, y la ayuda de estos sistemas es imprescindible cuando el aumento de velocidad es importante.

### 3 Redes de alta velocidad

Como acordamos anteriormente, hablaremos de “redes de alta velocidad” en el caso en que los métodos de control y gestión de tráfico conocidos no resuelven el problema en estas redes con similar eficacia. Podemos decir que *Frame Relay* es una red que hace de puente entre las tecnologías más conocidas, y las más recientes. El tamaño de paquete de FR es todavía grande, por otro lado la integración de servicios induce, de manera indirecta, a utilizar la misma tecnología independientemente de la distancia y del hecho de si se circula por una red pública o privada. *Frame Relay* está orientado a servicios públicos de redes de larga distancia.

Podemos enumerar brevemente algunas redes de alta velocidad. *Fast and Switched Ethernet*, son variaciones de *Ethernet* por aumento de la velocidad y la inclusión de topología en estrella, pero en cualquier caso utiliza el mismo protocolo CSMA/CD para control de tráfico. SMDS (*Switched Multimegabit Data Service*) es el nombre que reciben las redes públicas especializadas en transporte de datos a media/alta velocidad, y en general no soportan servicios en tiempo real. SONET (*Synchronous Optical Network*) o *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) son redes portadoras, ofrecen servicio de a bajo nivel, utilizan fibra óptica y multiplexación digital

jerárquica. Existen otras variaciones basadas en las tecnologías mencionadas, pero nos centraremos en la red de transporte ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) como modelo de red de alta velocidad (altas prestaciones). Algunos detalles de la tecnología ATM, en cuanto a control de tráfico, se desarrollaran posteriormente.

### Objetivos de las redes de alta velocidad

Cuando hablamos de alta velocidad, esta claro que queremos expresar más conceptos que un 'simple' aumento de la velocidad de transmisión de una red<sup>12</sup>. A continuación se enumeran algunos de los parámetros clave que se quieren mejorar en este tipo de redes:

- Rendimiento de los nodos en paquetes, o unidades de información por segundo. Simple si pensamos en términos de la cantidad de enlaces activos de alta velocidad en un centro de comunicaciones y el tráfico que cursan en paquetes conmutados. Las cifras son imaginables en una red privada, pero en una red pública atendiendo a miles de usuarios, la magnitud de las cifras es inmensa todavía.
- Tiempo de tránsito del nodo. Se trata del tiempo que necesita una unidad de información desde que accede a un nodo, hasta que lo abandona. El valor de este parámetro viene dado por dos factores básicos: el tiempo de proceso del paquete (es constante) y el tiempo de espera en las colas para ser servido (variable). Despreciaremos otros factores como el tiempo de propagación en el seno del nodo. Es un parámetro muy importante para los servicios conversacionales o interactivos. El retardo variable es uno de los que más influye en la calidad final de esta clase de servicios, y también en los de difusión de audiovisual.

Para obtener las mejoras descritas se debe actuar desde diferentes ángulos, de los que destacamos:

- Conmutación de los paquetes por *hardware*. Hasta donde sea posible, los conmutadores de paquetes deben tener *hardware* especializado en el tratamiento de las cabeceras de los paquetes. En este sentido las redes que utilizan paquetes de tamaño fijo se benefician mejor de las tecnologías de conmutación *hardware*.
- Recuperación de errores de los enlaces. En este caso, y dados los bajos porcentajes de errores las fibras ópticas, se requiere un control exclusivamente sobre errores en la cabecera de los paquetes. El resultado de la detección de errores en la cabecera puede dar lugar a diferentes acciones, la tendencia es a simplificarlas. La opción más frecuente es simplemente descartar el paquete.
- Reducción de la longitud de los paquetes. Como sabemos, cada nodo debe recibir el paquete completo antes de procesarlo. Si los paquetes son pequeños, reducimos el tiempo de tránsito del nodo, y en consecuencia el retardo extremo a extremo.
- Control de flujo y control de congestión. Este es el tema que hemos desarrollado en parte, y al que nos referiremos con mayor detalle en puntos posteriores.
- Recepción secuencial (ordenada) de los paquetes. Si la red garantiza el orden de transmisión de los paquetes, podemos simplificar los protocolos, y por tanto la

<sup>12</sup> A veces se utiliza la expresión 'redes de altas prestaciones' del inglés *high performance networks*

gestión en la red, dado que no es necesario distinguirlos de manera individual. En alta velocidad significa normalmente que se deben establecer encaminamientos invariables para cada conexión.

- Sistema de prioridades. Es un tema un ciertamente abierto, con diferentes soluciones. Consideraremos que se debe distinguir entre flujos de diferentes clases de tráfico y por tanto con diferentes requerimientos de calidad de servicio. No obstante estos tráficos deben compartir la mayoría de los recursos de la red.

Antes de presentar las herramientas que se utilizan para alcanzar estos objetivos, veamos de manera gráfica cual es el rendimiento y el retardo de las redes de conmutación de paquetes en general.

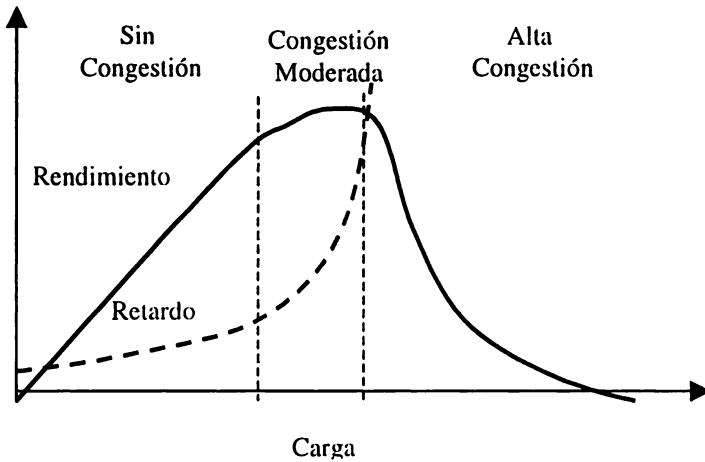


Fig.ura 8. Congestión y retardo en función de la carga en redes de paquetes

A la vista de la figura, se comprende que los mecanismos para evitar entrar en el estado de congestión para evitar la rápida caída del rendimiento y la dificultad para recuperar una situación normal, son vitales en este tipo de redes.

### Tipos de control de tráfico

Antes de entrar en más casos concretos, veremos unos aspectos relacionados con el modo en que el tráfico puede ser controlado en los puntos de entrada de la red:

- Control de flujo explícito. Se trata de una limitación específica del tráfico que pueden generar los usuarios. Cuando la red envía un mensaje de este tipo, el usuario está obligado a disminuir, o incluso parar, su flujo de tráfico hacia la red, hasta que la situación se normalice.
- Control de flujo implícito. Aunque el objetivo es el mismo, en este caso se le 'sugiere' a los usuarios que reduzcan su flujo de tráfico hacia la red. Normalmente hay dos razones por las que se envían este tipo de mensajes: por violación de los parámetros del contrato de servicio, o por congestión de la red. En cualquier caso,

si el usuario continua enviando tráfico a igual velocidad, corre el riesgo de que la red lo marque para que sea descartado en el momento en el que lo considere necesario.

- No hay control de flujo. No se establece ningún control de flujo, pero la red siempre puede descartar el tráfico que le pueda crear problemas. También tenemos que suponer que tanto los niveles superiores (aplicación, etc) como los inferiores (detección de colisiones en una red *ethernet*, etc) contribuyen de alguna manera a controlar el flujo.

Otros métodos como la retrocontención (*backpressure*) por estrangulamiento de tráfico que recibe un nodo, no es útil en los sistemas de alta velocidad que no tienen mecanismos de control de flujo que detecten falta de capacidad de recepción en el nodo destino. Un caso similar es la utilización de paquetes de bloqueo (*choke*) que obligan a las estaciones emisoras a parar de manera inmediata hasta que se reciban paquetes de inicio de transmisión. Por otro lado, cuando las redes trabajan con paquetes de tamaño pequeño y a alta velocidad, la congestión se produce a pequeña escala de tiempo, y muy localizada, por lo que los esquemas de retrocontención y bloqueo se presentan ineficientes.

## Asignación de banda

Las redes de alta velocidad incluyen en su gestión la necesidad de gestionar un ancho de banda flexible y en algunos casos compartido. En efecto, la banda ocupada por las diferentes conexiones en una red de alta velocidad puede ser variable y tomar cualquier distribución<sup>13</sup>. El cálculo de estos valores de la banda que se requiere para un servicio dado no es fácil. Un aspecto clave es el modelado del tráfico para asociarle unas características de comportamiento que se acerquen tanto como sea posible a las del tráfico real. En el caso de la red ATM se presentará el problema de los modelos de tráfico con mayor detalle.

## La red ATM

Antes de presentar el problema del control de tráfico en redes ATM, recordaremos brevemente las características generales de la red, ATM está basada en la conmutación rápida de paquetes de tamaño pequeño y fijo (53 bytes) llamadas celdas. La red está orientada a la conexión, por lo que antes de iniciarse el intercambio de datos se debe establecer un proceso de asignación de recursos y de identificación interna del flujo de datos.

---

<sup>13</sup> Al menos en teoría, en la realidad se espera que se definan un conjunto limitado de clases con velocidades prefijadas y conocidas de antemano.



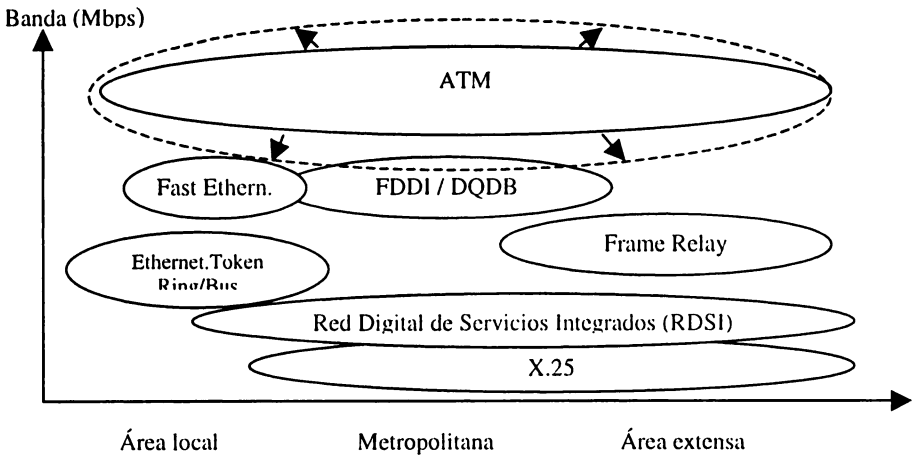


Figura 9. Situación de las tecnologías con relación a su banda (velocidad) y ámbito (distancia).

La red garantiza la llegada en orden de las celdas, pero debido a la multiplexación estadística<sup>14</sup> en los enlaces entre nodos, puede haber pérdidas de celdas. Dichas pérdidas estarán siempre por debajo de unos valores negociados entre la red y los usuarios. Uno de los principales objetivos de la red es maximizar la cantidad de tráfico transportado manteniendo la calidad de servicio acordada.

### Gestión de tráfico en redes ATM

Como objetivo global, en ATM se pretende obtener un conjunto de procedimientos de control de tráfico y control de congestión que minimicen la complejidad de la red y de los equipos terminales maximizando al mismo tiempo la utilización de la red. Ello debe ser compatible con la provisión de diferentes clases de tráfico y de diferentes calidades de servicio a los usuarios de la red.

Por su naturaleza, las funciones de control de congestión son reactivas, es decir, actúan cuando ya se da en un cierto grado la congestión. En cambio, las funciones de control de flujo son preventivas. La única excepción es la gestión rápida de recursos, donde existe un diálogo extremo a extremo que regula el intercambio de datos en función de la carga instantánea de la red. Esto sería un control reactivo. Ambos mecanismos, preventivo y reactivo, no son mutuamente excluyentes, pueden actuar de manera simultánea y combinar los aspectos positivos de los dos métodos.

A continuación presentamos una tabla que muestra las diferentes funciones de control de tráfico y de control de congestión en redes ATM:

<sup>14</sup> Ver figura 11 y sus comentarios.

Tabla 2. Funciones de control de tráfico y de control de congestión.

| <i>Escala de tiempo</i>                 | <i>Control de tráfico</i>   | <i>Control de congestión</i>   |
|---|---|--|
| Larga duración                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión de recursos (Caminos Virtuales)</li> </ul>   |  |
| Duración de conexión                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de admisión de conexiones (CAC)</li> </ul>   |  |
| Tiempo de Propagación extremo a extremo | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestión rápida de recursos</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Indicación explícita de congestión</li> <li>• Control de flujo de ABR<sup>15</sup></li> </ul> |
| Inserción de celda                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de utilización (UPC<sup>16</sup>)</li> <li>• Prioridad</li> <li>• Conformado de tráfico</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descarte selectivo de celdas</li> <li>• Descarte de tramas</li> </ul>                         |

ATM soporta diferentes clases de tráfico, se pueden ver en la figura 10, cada clase requiere los mecanismos de control que mejor se adapten. No se verá en este documento una descripción de todos los controles. Insistiremos principalmente en las fuentes de tráfico de velocidad variable VBR (*Variable Bit Rate*) y con menor detalle el control del tráfico ABR (*Available Bit Rate*). También se plantearán los principios básicos de los controles de CAC, UPC, y control de flujo ABR.

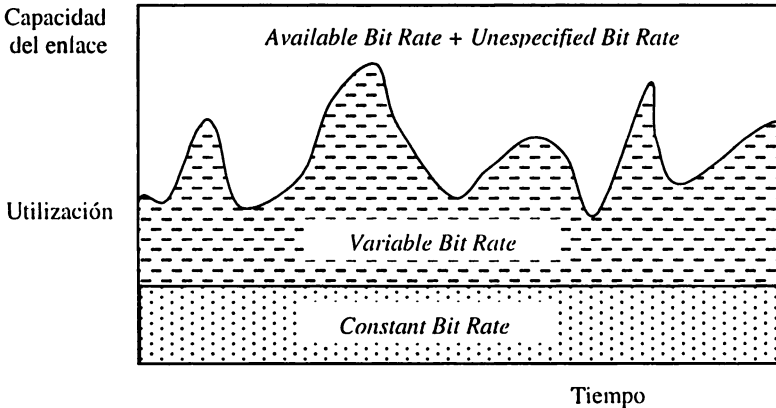


Figura 10. Banda ocupada por los tipos de tráfico ATM.

<sup>15</sup> *Available Bit Rate*, tráfico ATM de banda disponible.

<sup>16</sup> *Usage Parameter Control*, también llamada función de policía.

### Control de Aceptación de conexiones (CAC)

Se denomina sistema de aceptación de conexiones al conjunto de mecanismos que se utilizan para determinar si una nueva conexión puede ser aceptada o no. Esta decisión se toma en función de los parámetros declarados por la conexión, los requerimientos de calidad de servicio y del estado de la red.

Durante el establecimiento de la conexión se establece un contrato de tráfico. El proceso es simple: 1) el usuario envía un mensaje de señalización a la red, indicando las características del tráfico y la calidad de servicio que se requiere, y 2) el sistema CAC decide si puede aceptar la llamada, o no, e informa al usuario mediante un nuevo mensaje de señalización. Si se acepta, también se envían las condiciones previstas de calidad. Si la respuesta es negativa, se puede renegociar de nuevo con la red, bien rebajando las velocidades de servicio determinadas o bien rebajando la calidad de servicio solicitada inicialmente.

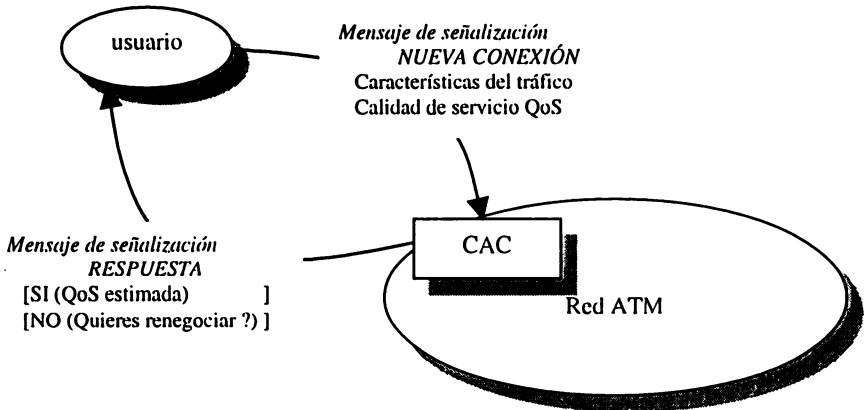


Figura 11. Establecimiento del contrato de tráfico.

En el sistema de CAC, el cálculo de la banda que necesitan las conexiones es una cuestión clave. Debido a la multiplexación estadística, para el tráfico VBR el problema es complejo. La banda necesaria no depende exclusivamente de las características de la fuente: el número de conexiones, y el tamaño del buffer del enlace deben ser tenidas en consideración. En general podemos decir que la banda ocupada por un conjunto de llamadas en presencia de multiplexación estadística se encuentra entre la suma de las velocidades medias y la suma de las velocidades de pico de todas las conexiones. Como se puede suponer, para tráfico muy variable (con un alto grado de ráfaga) la diferencia entre esos dos valores puede ser grande.

En la figura 12 podemos observar algunos detalles interesantes. En primer lugar, el aumento del número de conexiones acerca la banda necesaria a la media, eso significa una disminución de la banda por conexión. Por otro lado, el aumento del tamaño del *buffer* también provoca una disminución de la banda por conexión. Si aumentamos indefinidamente el *buffer*, podríamos llegar a igualar virtualmente la banda necesaria a la media (que es el límite inferior). Pero el aumento del buffer no

significa únicamente aumentar los recursos de la red, como aumentar la capacidad de los enlaces, sino que aumenta el retardo hasta niveles inadecuados para tráfico interactivo.

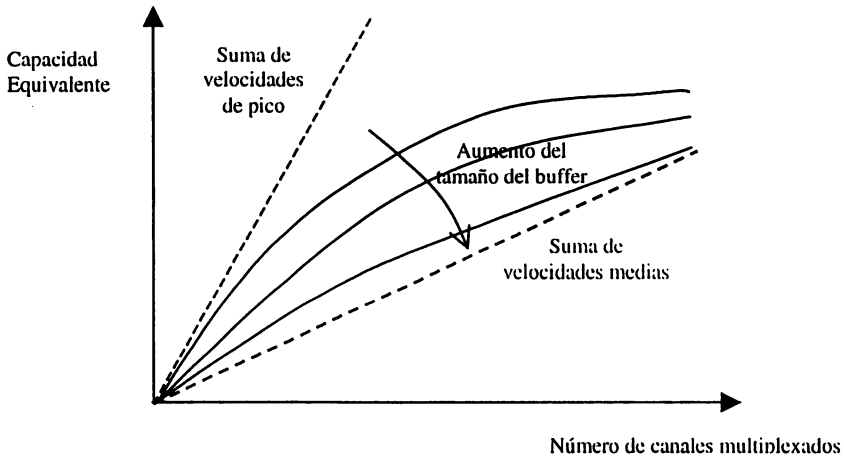


Figura 12. Banda necesaria en función de la cantidad de conexiones y del tamaño del buffer.

Existen diferentes métodos de evaluación de la banda necesaria para aplicar el CAC. Enumeraremos a continuación las características de los más conocidos de manera esquemática:

- **Flujo de fluidos.** Se asume que el flujo de celdas es continuo, en lugar de discreto como es en realidad. De este modo se pueden aplicar técnicas de cálculo utilizadas en el análisis de flujo de fluidos. Estos métodos resultan satisfactorios en sistemas con tamaño de *buffer* grande.
- **Métodos de análisis estacionario.** El factor dominante es la multiplexación estadística. Las aproximaciones son mejores para *buffers* pequeños. Se basan en el cálculo de la distribución probabilística de velocidades, es decir el conocimiento de la probabilidad de que el conjunto de fuentes estén emitiendo a una velocidad dada. A partir del resultado anterior se evalúa la probabilidad de congestión y a partir de ésta la probabilidad estimada de pérdida de celdas. Existen diferentes aproximaciones: la convolución, gaussiana y la lineal. El método analítico de la convolución es el más exacto, pero requiere un gran esfuerzo de cálculo. A velocidades altas, que es donde ocurre la congestión, la gaussiana aproxima la distribución probabilística de velocidades a la curva de una función de distribución Gaussiana. La Gaussiana se denomina también de los "dos momentos", porque se evalúa conociendo la media y la desviación típica de cada una de las fuentes. Finalmente, la aproximación lineal aproxima la parte final de la distribución a una recta, es suficientemente exacta en entornos homogéneos.

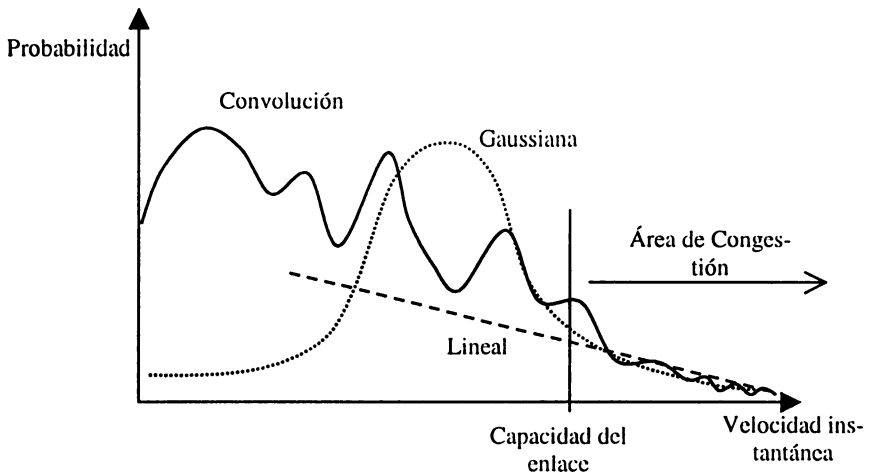


Figura 13. Métodos estacionarios, distribuciones: Convolución, Gaussiana y Lineal.

- **Banda equivalente.** La idea es simple, se trata de asignar un valor único (en bit/s) a la banda de una fuente. Este valor intenta concentrar todo el comportamiento de la fuente. En el cálculo de este valor interviene todo el entorno de la red: tamaño del buffer, máximo número de pérdidas, etc. El inconveniente es que a pesar de que se utilizan métodos más exactos, como los del punto anterior, se aplican a grupos de conexiones homogéneas para evaluar la Banda Equivalente de cada tipo de tráfico. Pero cuando se suman los valores evaluados en el caso de tráfico heterogéneo, la exactitud decae.
- **Métodos heurísticos.** Se basan en hacer predicciones del futuro comportamiento de la red basándose en el estado actual, pero también se utilizan mediciones reales del tráfico existente. De la diferencia entre las predicciones y de las mediciones reales, el sistema ajusta sus cálculos. En esta dirección, los trabajos realizados siguen estrategias muy diferentes, desde la utilización de la lógica difusa (*fuzzy logic*), pasando por redes neuronales, o sistemas de inteligencia artificial entre otros.

### Control de utilización UPC (*Usage Parameter Control*)

Como sabemos, la red basa la garantía de la calidad de servicio solicitada en la existencia de un contrato de tráfico, pero, ¿qué pasa si un usuario, por defectos de su sistema, o premeditadamente, emite un tráfico por encima del contratado?. La consecuencia inmediata puede ser la degeneración de la calidad de servicio, no solo para ese usuario en cuestión, sino para el resto de usuarios que comparten los mismos recursos. Para evitar esta situación se utiliza un mecanismo de control asignado a cada fuente de tráfico que verifica de manera continua el comportamiento del tráfico.

El método más utilizado es GCRA (*Generic Cell Rate Algorithm*), esta basado en la idea del "cubo goteante" o *Leaky Bucket*. La idea es sencilla, se basa en disponer de

un recipiente de capacidad limitada en el que la fuente de tráfico añade contenido en relación a su velocidad de transmisión. Por otro lado el recipiente extrae contenido a velocidad constante. Si durante un periodo demasiado largo, el aporte de la fuente es superior al de drenado, el recipiente se llena, y se pierde parte de la información emitida.

En este mecanismo se deben fijar únicamente dos parámetros: la capacidad del recipiente y la velocidad de drenado. La velocidad de drenado corresponde a la velocidad media contratada, y la capacidad del recipiente da una idea del volumen de información durante el cual se toma esa medida de la media. La reformulación del mecanismo en forma del algoritmo GCRA es simple. Una cuestión interesante desde el punto de vista del usuario es el conformado de tráfico (*traffic shapper*), este consiste en aplicar el GCRA antes de colocar el tráfico en la red con lo que el usuario puede asegurar un 'suavizado' de su tráfico que le permite obtener el máximo provecho de su contrato.

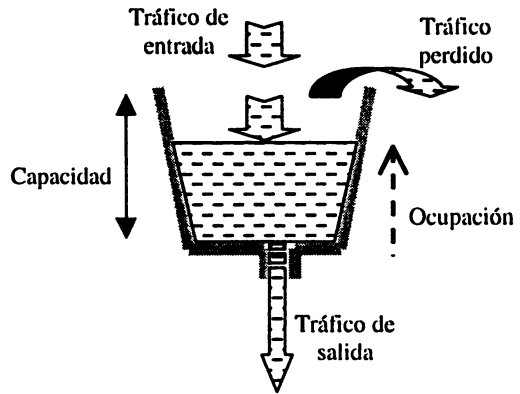


Figura 14. *Leaky Bucket*

### Control del tráfico ABR

Finalmente, haremos una breve descripción del control de tráfico ABR. La calidad de servicio proporcionada para CBR, y VBR se basa en el contrato de tráfico, y el control de los parámetros del usuario por la función UPC. No hay ninguna realimentación hacia la fuente de tráfico relativa al estado de la red, en particular a una posible congestión. La gestión del tráfico ABR permite utilizar la capacidad residual de las mencionadas clases, entre algunas fuentes ABR utilizando mecanismos de realimentación.

El contrato de tráfico ABR especifica las siguientes velocidades de trabajo: la permitida (que varía dinámicamente durante la conexión), la mínima, la de pico y la inicial. Es evidente que la velocidad permitida puede tomar valores entre la mínima y la de pico. Al inicio de la conexión la velocidad permitida toma el valor de la inicial, después se ajusta en función de la información de realimentación de la red. Dicha información se envía de manera periódica a través de celdas RM (*Resource Management*). Las celdas RM pueden indicar: congestión (CI, *Congestion Indication*), no incrementar (NI, *No Increase*), y fijar velocidad (ER, *Explicit Rate*).

Para ver el funcionamiento lo mejor es estudiar el algoritmo de gestión de la velocidad permitida:

```

Si (CI=1){ /* hay_congestion */
    Reducir la velocidad permitida en proporción a la actual.
    (nunca por debajo de la mínima)
} sino {
    si (NI=0){ /* no_incrementar es falso */
        Aumentar la velocidad permitida en proporción a la
        actual. (nunca por encima del pico)
    }
}
si (velocidad_permitida > velocidad_explicita)
    velocidad_permitida = máximo (velocidad_explicita,
    velocidad_mínima)

```

Este mecanismo permite un control dinámico del control de la velocidad de la fuente en función de la carga, o posible congestión, del sistema. El inconveniente es que lo hace a una escala de tiempo relacionada con el tiempo de latencia de la red, que es el tiempo que necesitan las celdas RM para circular por los nodos y poder informar al usuario. Esta gestión permite una garantía de servicio al usuario para servicios que admitan un cierto retardo y su variación. Por último cabe decir que el tráfico UBR, no tiene ningún mecanismo de control ni garantía de servicio, y que depende de la actividad del resto del tráfico para poder colocar sus celdas.

## Conclusiones

A lo largo del documento hemos analizado diferentes mecanismos de control de tráfico en las redes tradicionales. Cuando a esos métodos se les aumenta la velocidad, la distancia o ambas cosas, según el caso, hemos analizado las limitaciones. A veces el problema es el propio protocolo, otras la topología de la red, o bien el formato de los paquetes o tramas.

En general, los mecanismos de control por ventana, que tan bien regulan el flujo de tráfico en los nodos de muchas redes de conmutación de paquetes, pierden eficacia en redes de alta velocidad. La razón es que la reacción ya es inútil debido a la gran cantidad de tráfico que se encuentra circulando por la red.

También mencionaremos el deseo de los usuarios de que las redes sean simples, desde su punto de vista, y que se limiten a transmitir y conmutar elementos de información con la menor manipulación posible.

Finalmente, para controlar la congestión del sistema prevalecen los controles preventivos que llevan a la 'periferia' de la red los mecanismos de auto-limitación de la velocidad de emisión de manera independiente del estado de carga de la red.

La red de transporte ATM combina diferentes métodos de gestión y control de tráfico aplicando los más adecuados según la clase de tráfico que se desea controlar.

## Bibliografía

1. Acampora, A.: An Introduction to Broadband Networks. Plenum Press New York (1994) 55-59.
2. Black, U.: Emerging Communications Technologies. IBM Prentice Hall New Jersey (1997)
3. Dutton, H., Lenhard, P.: High-Speed Networking Technology. IBM Prentice Hall New Jersey (1995) 1.1-1.5
4. Hallsall, F.: Data Communications, Computer Networks and Open Systems. Addison Wesley (1996).
5. Jain, R.: A Delay Based Approach for Congestion Avoidance in Interconnected Heterogeneous Computer Networks. Computer Communications Review, p 56-71 (1989)
6. Ramakrishnan, K.K., Jain, R.: A Binary Feedback Scheme for Congestion Avoidance in Computer Networks. ACM Trans. On Comp. Sys. 8, 2, p 158-181 (1990).
7. Stallings, W: Comunicaciones y redes de computadores. Prentice Hall. (1997).
8. Stallings, W: High-Speed Networks, TCP/IP and ATM design principles. Prentice Hall New Jersey (1998).
9. Tanenbaum, A. S.: Redes de Computadoras. Prentice Hall. (1997).