

---

## 3 Redes de Acceso Alámbricas

### 3.1 INTRODUCCIÓN

En nuestros días se está viviendo la evolución de las redes de comunicaciones hacia redes de Alta Velocidad, en las que la filosofía en la que éstas se basaban ha cambiado considerablemente. El cambio a nivel de red, obviamente implica cambios de planteamiento en los algoritmos de los protocolos de comunicaciones. No obstante, los cambios impuestos por la evolución de las tecnologías, no siempre pueden aplicarse debido al alto grado de penetración de estos protocolos.

En sus inicios, TCP se diseñó para un tipo de redes poco fiables y de baja velocidad. Actualmente se utiliza en redes de comunicaciones de fiabilidad elevada y de alta velocidad, en las que el principal problema no es la pérdida de paquetes por mala calidad sino por congestión en los nodos de conmutación de las redes.

Estas nuevas redes por lo tanto, deben disponer de mecanismos al alcance de los protocolos de comunicaciones para combatir el principal problema: **la congestión**. Éste sería el caso de las nuevas tecnologías de red como Frame Relay [Bla94, Smi93] y ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) [Pry, Kya].

Basándonos en las nuevas redes, ¿cuál es la solución en cuanto a los protocolos de comunicaciones?. En primer lugar podríamos pensar que, ya que se definen nuevas redes, los protocolos de comunicaciones deberían seguir el avance y definirse acorde con las nuevas necesidades [DDK90]. Este sería el caso, por ejemplo, del protocolo XTP [SDW92, XTP]. Pero al hablar del protocolo TCP/IP, debido a su gran penetración en las redes mundiales, se hace

inviabile, al menos por el momento, el reemplazarlo por un nuevo protocolo diseñado partiendo de la base de las nuevas tecnologías.

¿Cuál parece ser la solución?. Pues bien, la adecuación de estos protocolos a las nuevas redes es lo que se está llevando a cabo. Una primera fase fue, concretamente, dotar al protocolo TCP de una serie de mecanismos para combatir la congestión, basándose en la idea que la pérdida de paquetes en la red y el aumento de retardos en la misma eran debidos a la congestión y no a errores introducidos en el medido de transmisión. De aquí surgieron los mecanismos de *Slow Start*, *Congestion Avoidance*, *Fast Retransmit* and *Fast Recovery* y algoritmos para el ajuste de temporizadores. Con ellos la estrategia que utiliza TCP es controlar la congestión una vez ya ha ocurrido, es decir TCP necesita perder paquetes para actuar contra la congestión.

Más adelante, otras implementaciones del TCP intentan adelantarse a la congestión para actuar contra ella, sería el caso por ejemplo de TCP-Vegas [BrP95a, BrP95b, ADL95, FaF96].

Basándonos en las redes como Frame Relay o ATM se han estudiado otros mecanismos para actuar contra la congestión, pero con una filosofía muy diferente. Estos protocolos de red, diseñados para redes en las que el problema es la congestión, incorporan mecanismos que informan extremo a extremo del estado de la red [BoF95, KuM95, RaN95, CCJ95, Jai, Jai96, CGS, BeS95, RoF95, KaV95, KJF], de forma que interpretando esta información es posible conocer la congestión en la red antes de que ésta ocurra. Pero no es suficiente con que la red informe al usuario de los problemas que éste puede encontrar, sino que se debe responder de alguna forma para poder actuar contra ésta.

También en las redes de acceso, hay una gran variedad de **tecnologías asimétricas** que van siendo una alternativa popular para el acceso a Internet. La motivación para este tipo de redes es básicamente económica, ya que es más barato y fácil proporcionar un alto ancho de banda en una única dirección de la comunicación que en ambas. Además, en las aplicaciones que hoy en día dominan en Internet, el acceso a Web o FTP, tienen una naturaleza asimétrica en sí mismas, con más datos en la dirección del servidor al cliente.

Algunos ejemplos de estas redes son las redes de Módem de Cable, *Direct Broadcast Satellite* (DBS) i redes inalámbricas como *Local Multipoint Distribution Service* (LMDS). En las redes de Módem por cable alámbricas, el canal de ida utiliza líneas de cable convencionales, que también se utilizan para la distribución de televisión por cable. El canal de retorno, es o bien un canal fuera de banda utilizando la línea telefónica, o dentro de banda pero utilizando las misma líneas de cable pero a velocidades significativamente de menor ancho de banda que en la dirección de ida.

Ha habido análisis recientes para analizar el comportamiento de TCP en enlaces asimétricos [Kar96, BPK97, All98]. Su comportamiento en cuanto a caudal se degrada debido a la baja velocidad del enlace de retorno a través del cual viajan los reconocimientos de los datos.

En este capítulo se describirán los aspectos relevantes de los dos protocolos de acceso alámbricos que se han utilizado para la evaluación del protocolo TCP.

### 3.2 *FRAME RELAY*

Frame Relay es una tecnología rápida orientada a paquete, diseñada originalmente por la RDSI, la cual se basa en tres conceptos básicos:

- **Sistemas de usuario finales Inteligentes:** Se asume que los dispositivos de los usuarios finales tienen inteligencia y por tanto pueden realizar control de flujo y garantizar la integridad de los datos en caso necesario.
- **Facilidades de transmisión digital fiable:** Se asume que las redes son mucho más fiables, y por tanto habrá menos errores. Consecuentemente, tiene menos sentido dedicar recursos a la resolución de los errores.
- **Sistemas de comunicaciones de alta velocidad** (capacidades de alto ancho de banda).

Frame Relay tiene dos características que lo hacen atractivo:

- Poca información de cabeceras, lo que produce un procesado rápido.
- Capacidad de soportar ráfagas de tráfico (caudal instantáneo elevado).

La reducida información de cabeceras se refiere al mínimo proceso que tiene lugar en cada uno de los nodos en una red Frame Relay. El procesado para el control de errores y de flujo no existe, con lo cual se consigue reducir todavía más el retardo.

A medida que el uso de fibras ópticas y medidas para mejorar la calidad de las líneas se extienden, los protocolos que destinan más recursos a luchar contra los errores, van teniendo cada vez menor importancia. En estos casos, no es necesario destinar recursos para controlar errores si éstos se producen raramente.

No obstante, en aplicaciones extremo a extremo, la detección y corrección de errores mediante retransmisiones se realiza de todas maneras. Por lo tanto, la eliminación de la recuperación de errores en la capa del enlace de datos reduce la duplicidad en estos mecanismos.

Asumiendo que los errores raramente ocurren, Frame Relay no los detecta ni los resuelve, sino que asume que el dispositivo final realizará los mecanismos necesarios para asegurar una

transmisión fiable. De esta forma, se consiguen transmisiones de alta velocidad reduciendo las operaciones redundantes.

Resumiendo, Frame Relay se basa en la idea de que las redes pueden realizar las operaciones más rápidamente, siempre y cuando sean más simples. Se eliminan las operaciones a nivel de red, pero éstas deben ser realizadas por el usuario final. Esto quiere decir que Frame Relay no soluciona los problemas, sino que los delega al usuario final, siendo Frame Relay un servicio de nivel mínimo.

### 3.2.1 ESTRUCTURA DE LA TRAMA FRAME RELAY

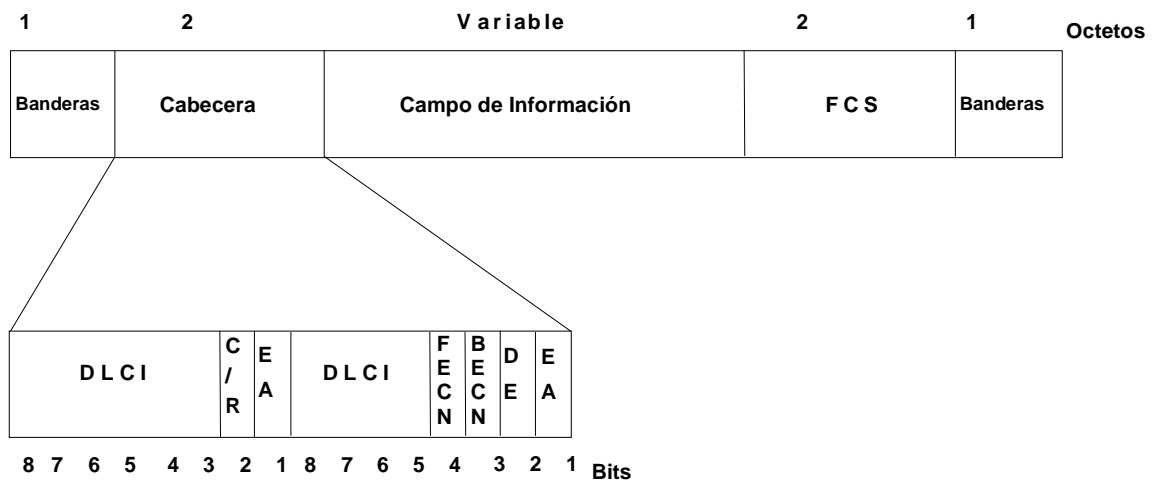


Figura 3.1 Estructura de trama Frame Relay

La longitud máxima de la trama es de 4096 bits, y su estructura es la siguiente:

- **Banderas:** las banderas al inicio y al final de la trama se usan para delimitar y reconocer las tramas en el enlace de comunicaciones. Para asegurar que en el campo de información de la trama no existe el mismo patrón de bits que la bandera ("01111110"), se utiliza la técnica de inserción de ceros en el campo de datos.
- **Identificador de conexión del enlace de datos (Data Link Connection Identifier, DLCI):** Es el mecanismo de direccionamiento en Frame Relay, identificando la conexión virtual Frame Relay en ambas direcciones (origen y destino de la comunicación). El DLCI consiste en los seis bits más significativos del segundo octeto, más los cuatro bits más significativos del primer octeto de la cabecera Frame Relay. Dependiendo del valor del bit EA (dirección extendida), pueden usarse bits adicionales para formar el DLCI.
- **Command/Response (C/R):** Identifica si una trama es un comando ó una respuesta. Este bit no se utiliza en el protocolo Frame Relay para circuitos permanentes y puede ponerse

a cualquier valor. Este campo es herencia de HDLC, protocolo sobre el cuál Frame Relay está basado.

- **Extended address (EA):** Se utiliza para asignar más bits al campo DLCI.
- **FECN y BECN:** El bit BECN (*Backward Explicit Congestion Notification*) puede ser activado por la red en la dirección opuesta al flujo de datos en caso de congestión, para notificar al dispositivo de acceso a la red Frame Relay que deben iniciarse los procedimientos de prevención de la congestión. Es también responsabilidad de la red el reconocer la situación de congestión en la dirección del flujo de datos y marcar el bit FECN (*Forward Explicit Congestion Notification*). Este mecanismo se usa por tanto para:
  - Notificar al usuario, *router* y nodos Frame Relay sobre la congestión.
  - Adoptar medidas correctivas (control de flujo y de congestión).
- **Discard Eligibility (DE):** Este bit se utiliza para indicar si una trama puede ser descartada en caso de congestión en la red. En teoría, una red Frame Relay descartará las tramas con el bit DE a uno en lugar de las que lo tienen a cero en caso de que la congestión provoque que no puedan procesarse todas las tramas. Se asume que los datos que se descartan en la red deberán ser retransmitidos por el extremo final en caso de tener que asegurar una transmisión fiable.
- **Campo de Información (I):** Contiene los datos de usuario y la información de control. Este campo no lo interpreta el nodo Frame Relay.
- **Frame Check Sequence (FCS):** Se utiliza para verificar que una trama no se ha corrompido durante la transmisión a través del enlace de comunicaciones. Este campo es el resultado de aplicar el CRC (*Cyclic Redundancy Check*) del CCITT a la trama Frame Relay, incluyendo desde el primer bit del campo de dirección hasta el último bit del campo de datos de usuario. En caso de que el FCS calculado en emisión y recepción no coincidan, la trama se descarta.

### 3.2.2 DEFINICIONES

A continuación vamos a definir algunos aspectos relevantes en cuanto a las velocidades de acceso al enlace Frame Relay, y las velocidades de usuario.

- **Access Rate (AR):** Es la velocidad de acceso a la red Frame Relay.
- **Committed Information Rate (CIR):** Es la tasa de datos media que un usuario puede inyectar en la red Frame Relay, o dicho de otra forma, es el ancho de banda disponible para un circuito Frame Relay. La tasa de transmisión puede superar durante breves espacios de tiempo

el CIR, lo cual se conoce como la capacidad de transmisión en ráfaga en una red Frame Relay. El CIR para cada circuito virtual es menor que el AR.

- **Excess Information Rate (EIR):** Siempre y cuando haya ancho de banda disponible en la red, es posible exceder el CIR en la cantidad EIR.
- **Permanent Virtual Circuit (PVC):** El usuario especifica qué nodos deben conectarse entre sí, y establece los parámetros para la conexión. El conmutador será el que mantendrá la conexión de forma permanente. Cada Circuito Permanente Virtual tendrá un CIR específico.

### 3.2.3 OPERACIÓN

En una red Frame Relay los nodos se conectan mediante Circuitos Virtuales Permanentes (PVC) o conmutados, cada uno de los cuales tiene asociado un CIR, de forma que se garantiza este ancho de banda para el circuito. No obstante, ya se ha comentado que la tasa de transmisión puede incrementarse un máximo de EIR, durante cortos periodos de tiempo, en caso de que exista ancho de banda disponible. Es importante determinar el valor de CIR óptimo para la aplicación y será el proveedor el que deberá evitar la congestión y ofrecer buena respuesta temporal.

Las operaciones del enlace Frame Relay son mucho más simples que las operaciones de control de otros protocolos del enlace de datos. Básicamente realiza tres funciones:

- Introduce las banderas o “*flags*” para delimitar la trama en el enlace de datos.
- Realiza un control de errores FCS (*Frame Check Sequence*) en cada nodo de la red Frame Relay. Si se detecta un error en el FCS, la trama se descarta y el enlace de datos no realiza ninguna acción para recuperarla. Solamente se transmiten a través de la red las tramas correctas. La información contenida en las tramas que hayan sido descartadas deberá ser retransmitida por un protocolo de capa superior en caso de requerir una transmisión fiable.
- Cada nodo de la red solamente debe conocer el DLCI para encaminar la trama a través de la red, sin necesidad de procesar el resto de la trama.

En resumen, los aspectos relevantes de Frame Relay son los siguientes:

- **Ancho de banda bajo demanda:** Una red Frame Relay permite al usuario obtener diferentes niveles de capacidad de transmisión de una manera dinámica.
- **Tráfico descartado:** La red Frame Relay puede descartar tráfico si la red está congestionada, o si el usuario está sobrepasando su contrato con la red mandando tráfico en exceso. El usuario no obstante puede marcar el tráfico susceptible a ser descartado, de forma

que la red puede descartar de forma selectiva en caso de congestión o si se sobrepasa el límite contratado.

- **Notificación de congestión:** La red puede notificar al usuario que existen problemas de congestión, o que el usuario está generando excesivo tráfico en la red. Esta notificación **puede** usarse por los dispositivos de usuario para reducir la tasa de generación de tráfico a la red.

#### 3.2.4 CONTROL DE CONGESTIÓN EN FRAME RELAY

La efectividad en cuanto a calidad y coste en una red Frame Relay, depende de lo bien que se gestionen los picos de tráfico. Por lo tanto, deben implementarse soluciones inteligentes para poder **solucionar las situaciones de picos de tráfico que conducen a periodos de congestión.**

El control de flujo es un aspecto importante para la prevención de la congestión en una red. Las especificaciones de Frame Relay consideran mecanismos de gestión de la congestión y que pueden utilizarse para el control de flujo. Concretamente, estos mecanismos son *Forward Explicit Congestion Notification (FECN)*, *Backward Explicit Congestion Notification (BECN)* y *Discard Eligibility (DE)*. A continuación se detallan estos mecanismos.

- **Discard Eligibility (DE):** Se utiliza para el control de congestión. Permite reconocer si una trama puede ser descartada en caso de congestión. De esta forma, en situaciones de congestión puede darse prioridad a tramas prioritarias, mientras que los datos menos críticos pueden ser descartados. La técnica utilizada para manipular el bit DE está asociada al *CIR (Committed Information Rate)*. El usuario estima la cantidad de tráfico que quiere enviar durante un intervalo de tiempo normal, si se supera el valor de CIR contratado, la red marca como DE las tramas inyectadas en la red.
- **FECN and BECN:** Los bits FECN y BECN se utilizan para notificar al receptor o emisor que las tramas han encontrado o encontrarán congestión. La ventaja de esta técnica es que el usuario puede reaccionar, en caso de estar preparado para ello, para solucionar los problemas de la congestión.

No obstante, la operación de FECN y BECN depende del dispositivo final o de los protocolos de capas altas. Por ejemplo, un terminal con capacidad para responder a la congestión podrá interactuar inteligentemente con la red como respuesta a los bits FECN y BECN, en lugar de mandar tráfico indiscriminadamente a la red. En concreto, éstos pueden controlar el flujo de datos bien almacenando los datos temporalmente o reduciendo la tasa de generación de los mismos.

Es importante notar que Frame Relay no significa siempre poder transmitir rápido. Cuando se produce congestión, las prestaciones de Frame Relay se reducen. Los proveedores de este servicio pueden paliar los efectos de la congestión almacenando los datos en los nodos de conmutación de la red. No obstante, el caudal se verá afectado aunque no existan pérdidas de datos.

Como conclusión, la congestión en una red Frame Relay reduce el caudal en la red. Además, debido a la naturaleza de esta capa de red, los protocolos superiores deberán asegurar la fiabilidad de los datos. Por lo tanto, deben diseñarse redes que eviten o eliminen la congestión. En este ámbito se ha evaluado un mecanismo que permite mejorar las prestaciones de una comunicación TCP en una red Frame Relay, en la que el principal problema es la congestión en los nodos de la red. Los aspectos principales a tener en cuenta se resumen a continuación:

- **Recuperación de errores:** Frame Relay descarta las tramas en caso de congestión o errores, pero en ningún caso retransmite las tramas perdidas. Es responsabilidad de las capas superiores, en nuestro caso la capa de transporte TCP, el retransmitir los datos perdidos.
- **Control de Flujo y de Congestión:** Frame Relay solamente notifica la congestión, pero no establece cómo responder a esta notificación. Es por tanto necesario disponer de algoritmos en capas superiores para solucionar la congestión.
- **Números de Secuencia:** Para garantizar la secuencia en los datos y poder retransmitirlos en caso de pérdidas, hay que garantizar que la capa de transporte secuencialice los datos dado que Frame Relay no lo hace.

### 3.3 *ASYMMETRIC DIGITAL SUBSCRIBER LINE (ADSL)*

Las tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line*), son bucles de abonado digitales que permiten ofrecer anchos de banda elevados mediante las líneas telefónicas convencionales. La tecnología que está teniendo más aceptación es, concretamente, ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) y está jugando un papel importante en la actualidad, ya que las compañías telefónicas están entrando en los mercados de la transmisión de la información en formatos de vídeo y multimedia.

ADSL [<http://www.adsl.com>] es la tecnología asimétrica de la familia xDSL. Convierte las líneas telefónicas convencionales en caminos de acceso para comunicaciones de datos multimedia y de alta velocidad. Con esta tecnología puede expandirse la capacidad de los accesos existentes por un factor de 50 o más sin necesidad de nuevo cableado. ADSL puede literalmente transformar la red de información pública existente limitada a voz, texto y gráficos de baja resolución, a otra capaz de transportar tráfico multimedia, incluyendo vídeo.



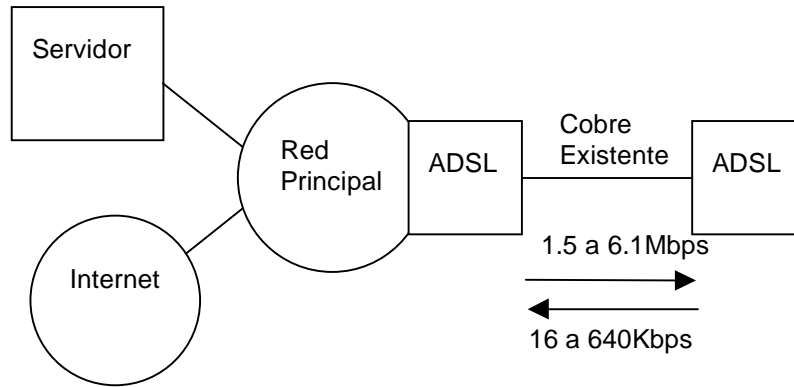


Figura 3.2 Conexión ADSL

### 3.3.1 CARACTERÍSTICAS

Un circuito ADSL conecta un módem ADSL en cada extremo de la línea telefónica convencional, creando tres canales de información: un canal de bajada de alta velocidad, un dúplex de velocidad media dependiendo de la implementación de la arquitectura ADSL, y un canal POTS (*Plain Old Telephone Service*) o uno RDSI. El canal de alta velocidad va de 1,5 a 6,1 Mbps, mientras que las velocidades del canal dúplex van de 16 a 640 Kbps. Cada canal, además, puede submultiplexarse para formar múltiples canales de velocidad menor, dependiendo del sistema.

Los módems ADSL proporcionan tasas de datos consistentes con las jerarquías digitales Norteamericanas y Europeas. La configuración mínima proporciona una velocidad de 1,5 o 2 Mbps para el canal de bajada, y un canal dúplex de 16 Kbps. Otros proporcionan tasas de 6,1 Mbps y 64 Kbps dúplex. Los módems ADSL soportan el transporte de ATM, así y como los protocolos IP.

Las tasas de datos del canal de bajada dependen de un número de factores, incluyendo la longitud de la línea de cobre y otras características. La atenuación de las líneas se incrementa con la longitud de la línea y la frecuencia, y se reduce a medida que el diámetro del cable incrementa.

### 3.3.2 TECNOLOGÍA

ADSL es posible gracias a las nuevas técnicas de ecualización y codificación. ADSL depende del procesado de señal digital avanzado, y de algoritmos que puedan insertar tanta información como sea posible en las líneas telefónicas de par trenzado. Además, se requieren más avances en transformadores, filtros analógicos y conversores analógico/digitales.

### 3.3.3 ASIMETRÍA

Hay estudios recientes que analizan y proponen soluciones para los problemas que conlleva la asimetría en las comunicaciones extremo a extremo TCP, en cuanto a prestaciones del protocolo. La problemática se centra en la baja velocidad del canal de retorno por donde viajan los reconocimientos, produciendo una reducción en la velocidad de los datos. En el capítulo correspondiente al estudio del protocolo TCP en redes asimétricas se evaluarán primero estos efectos y se propondrá una mejora a las propuestas existentes para obtener buen rendimiento del protocolo TCP extremo a extremo.