

## 6. MODO DE TRANSFERENCIA ASÍNCRONO

### 6.1 Antecedentes de ATM

La tecnología llamada en inglés *Asynchronous Transfer Mode (ATM)*, y conocida en español como Modo de Transferencia Asíncrona es el corazón de los servicios digitales integrados que ofrecerán las nuevas redes digitales de servicios integrados de Banda Ancha (B-ISDN). La versatilidad de la conmutación de paquetes de longitud fija, denominadas células ATM, es el modo de conmutación más adecuado para soportar la continua demanda de los usuarios de ancho de banda.

Algunos críticos establecen una analogía de la tecnología ATM con la red digital de servicios integrados. En este sentido se argumenta que ISDN es una gran tecnología que llegó en una época equivocada, en términos de que el mercado estaba principalmente en manos de actores con posiciones monopolísticas.

Es común argumentar que ATM es la solución que permitirá el desarrollo de las autopistas de la información pero en la práctica también es posible transmitir con la misma velocidad con tecnología síncrona. ATM sin embargo ofrece un mecanismo importante de control de información, o lo que es lo mismo un mecanismo de tarificación de información. Siendo objetivo de las autopistas de la información proveer un servicio sujeto al pago.

### 6.2 Comparativa ATM y STM

El concepto de ATM es más fácil de entender si se comprende STM. El modo de transferencia síncrono STM (Synchronous Transfer Mode) es una tecnología que permite la multiplexación de varios canales de información asignando a cada uno de ellos un intervalo de tiempo concreto en una trama. En una trama STM constituida por N canales, (digamos 32) se reserva un intervalo de tiempo para que transmita el canal 1, luego el canal 2,... el canal 31, el canal 32, y otra vez el canal 1... De esta forma la trama STM ha de fluir 32 veces más rápido que uno de los canales individuales.

ATM permite aprovechar mas eficientemente el ancho de banda al realizar siempre una ocupación completa de canal, y adaptándolo dinámicamente a las necesidades de tráfico.

La desventaja de ATM es que ha de existir una lógica de control adicional capaz de gestionar el tráfico, que puede ser incluso contraproducente para aplicaciones en tiempo real. Mientras que en STM se tiene la velocidad de canal asegurada, en ATM se corre el riesgo de perder el flujo constante de información.

### 6.3 Tipos de conmutación

La comunicación entre un origen y un destino habitualmente pasa por nodos intermedios que se encargan de enrutar el tráfico. Por ejemplo, en las llamadas telefónicas los nodos intermedios son las centralitas telefónicas y en las conexiones a Internet, los routers o encaminadores. Dependiendo de la utilización de estos nodos intermedios, se distingue entre conmutación de circuitos, de mensajes y de paquetes.

#### 6.3.1 *Conmutación de circuitos*

En la conmutación de circuitos se establece un camino físico entre el origen y el destino durante el tiempo que dure la transmisión de datos. Este camino es exclusivo para los dos extremos de la comunicación: no se comparte con otros usuarios (ancho de banda fijo). Si no se transmiten datos o se transmiten pocos se estará desperdiciando el canal. Las comunicaciones a través de líneas telefónicas analógicas (RTB) o digitales (RDSI) funcionan mediante conmutación de circuitos.

Normalmente la capacidad total se reparte con TDM (multiplexación por división en el tiempo), técnica que asigna a cada conexión la totalidad del ancho de banda cada cierto tiempo, se dice entonces que a un par de nodos le corresponde una ranura de tiempo en la que no podrá transmitir más que el par perteneciente a esa conexión (quedando vacío el enlace si no tienen nada que transmitir).

El camino elegido entre el origen y el destino probablemente atravesará varios conmutadores y utilizará distintos enlaces a través de la red. El encaminamiento utilizado se llama 'fijado en el origen', ya una vez que se decide la ruta a seguir por toda la información desde el nodo origen ya no varía. Las redes basadas en conmutación de circuitos presentan algunas características ventajosas derivadas de esta forma de encaminar, como puede ser la coherencia en la recepción de información. Es decir, dado que todas las unidades de información siguen el mismo trayecto entre origen y destino, no es posible que una unidad que se transmitió con anterioridad llegue más tarde que otra que fue transmitida con posterioridad. Si por el contrario siguieran distintas rutas existiría la posibilidad de que esto ocurriese, ya que una unidad de información podría ser enviada por un enlace más congestionado que el que toma la siguiente unidad transmitida, tardando así más tiempo en alcanzar el destino, con lo que llegarían desordenadas. Incluso puede darse el caso de que caiga algún enlace, con lo que las unidades que estuvieran circulando por un camino que contuviese ese enlace se perderían, mientras que las que fueran por otros caminos llegarían al destino. Este fenómeno, de hecho, ocurre en la conmutación de paquetes.

### 6.3.2. *Conmutación de paquetes*

En la conmutación de paquetes los mensajes se fragmentan en paquetes y cada uno de ellos se envía de forma independiente desde el origen al destino. De esta manera, los nodos (encaminadores) no necesitan una gran memoria temporal y el tráfico por la red es más fluido. No obstante, aparecen aquí una serie de problemas añadidos: la pérdida de un paquete provocará que se descarte el mensaje completo; además, como los paquetes pueden seguir rutas distintas puede darse el caso de que lleguen desordenados al destino. Esta es la forma de transmisión que se utiliza en Internet: los fragmentos de un mensaje van pasando a través de distintas redes hasta llegar al destino.

Los paquetes llevan una etiqueta que los identifica como parte de una conexión, de esta forma es posible multiplexar distintos paquetes que pertenecen a distintas conexiones por una misma línea sin necesidad de dedicar canales como ocurría en la conmutación de circuitos. De esta forma, se ahorra capacidad en la red. Esta multiplexación se llama multiplexación etiquetada. Además de la etiqueta de identificación, los

paquetes controlan sus errores gracias a que llevan un código de corrección de error. Esto permite que los paquetes erróneos sean retransmitidos. Así se puede evitar que la calidad en la transmisión en este tipo de redes sea demasiado baja.

Tanto la etiqueta como el código de control son campos de longitud fija comunes a todos los paquetes. A este conjunto de campos se les llama cabecera. Huelga decir que la existencia de la cabecera como campo fijo a transmitir en todos los paquetes reduce la tasa de bits disponible para la transmisión de información de usuario.

Normalmente, para elegir el camino hacia un destino, el nodo origen envía cada paquete a un conmutador y éste se encargará de enviarlo a otro, y éste a otro, así hasta alcanzar el destino. Esta forma de encaminamiento se llama 'salto a salto', ya que en cada nodo se decide cual será el siguiente nodo de la ruta, o el siguiente salto. Esta forma de encaminar también presenta sus ventajas, de hecho, la posibilidad de variar la ruta en función de la variación del estado de la red (por ejemplo la variación de tráfico por los enlaces) puede proporcionar una mayor velocidad a la transmisión.

Otra característica de las redes de conmutación de paquete es que la red siempre puede continuar aceptando paquetes sin asegurarse de que vaya a poder trabajar aceptablemente con el tráfico extra. Es decir, un nodo puede transmitir siempre que la línea esté libre los paquetes tan grandes como quiera (dentro del límite de tamaño de los mismos). Esta forma de trabajar ocasionará grandes retrasos que se verán incrementados a medida que la carga de la red aumenta. Cuando la carga se acerca a la capacidad de la red, las colas en los conmutadores se llenan con lo que los paquetes que llegan se pierden, esto origina la retransmisión de los mismos por parte de los nodos origen, con lo que la situación se empeora cada vez más en detrimento del rendimiento de la red. Para evitar llegar a estas situaciones extremas se usan controles de congestión que limitan la transmisión de paquetes por parte de los nodos, utilizándose cuando la red se carga demasiado. Habrá, por lo tanto, en la cabecera de los paquetes un campo relacionado con el control de congestión.

#### 6.4. Conmutación en redes ATM

ATM combina las técnicas de conmutación de circuitos y de paquetes de forma muy simple; mantiene la estructura de canales (reflejada en la

división por ranuras de tiempo) de la conmutación de circuitos y mantiene la estructura de paquetes definida en conmutación de paquetes. Sin embargo, a pesar de que toma los conceptos de ‘canal’ y de ‘paquete’ de las técnicas anteriores, hace variaciones sobre los mismos. De esta forma, en ATM un paquete no sólo es una agrupación de octetos en la que una parte es fija, (cabecera) y otra variable (datos útiles de información de usuario), sino que añade una longitud fija a los paquetes. De igual forma, los canales se corresponden con ranuras pertenecientes a usuarios. Estos, podrán utilizar la capacidad del enlace durante el intervalo de tiempo que les corresponda, al igual que antes, pero en ATM se añade la característica de que estas rendijas no tienen posición fija dentro de una trama, por lo que no todos los usuarios tendrán canales de la misma capacidad asignados.

Las células ATM son estructuras de datos de 53 bytes compuestas por dos campos principales. Se muestra en la Tabla 1 la estructura de una célula ATM.

Tabla 1: Representación de los dos campos principales de una célula ATM

Descripción / Dos campos principales	Descripción general
Header (cabecera)	Sus 5 bytes tienen tres funciones principales: identificación del canal, información para la detección de errores y si la célula es o no utilizada. Eventualmente puede contener también corrección de errores, número de secuencia.
Payload (datos útiles)	Tiene 48 bytes fundamentalmente con datos del usuario y protocolos AAL que también son considerados como datos del usuario

Dos de los conceptos más significativos de ATM, los Canales Virtuales y las Caminos Virtuales, están materializados en dos identificadores en el header de cada célula (VCI y VPI) ambos determinan el encaminamiento entre nodos. Existen dos formatos de células: la UNI (User Network Interface) utilizado en el interfaz red/usuario y la NNI Network Interface) cuando circulan por la red.

La estructura de la célula ATM viene dada por la Figura 1:

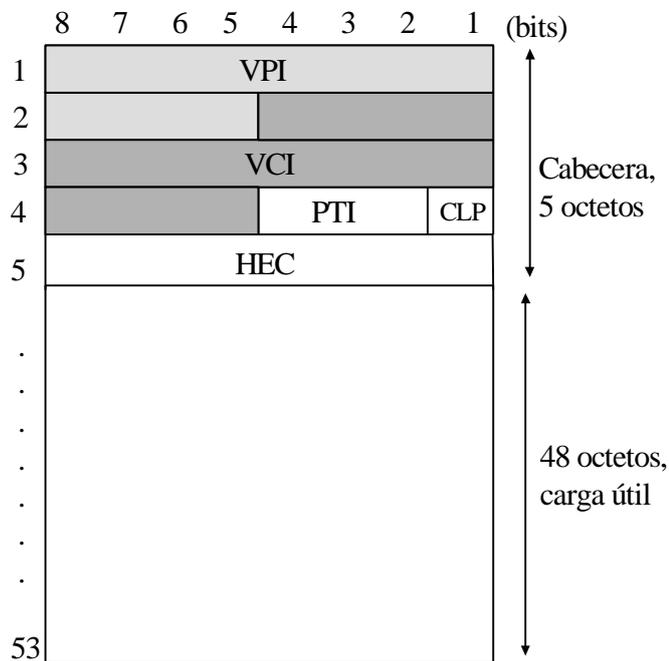


Figura 1: Célula ATM

La Figura 1 muestra los distintos campos existentes en la cabecera de la célula, la descripción de los mismos es lo que se explica en los siguientes apartados.

#### 6.4.1. Composición de una célula ATM

En este apartado se detalla cada una de las partes que componen una célula ATM.

- Campo de ruta VPI/VCI: VPI y VCI son las siglas inglesas correspondientes a *Virtual Path Identifier*, *Virtual Channel Identifier* (identificador de camino virtual y de canal virtual respectivamente).

El primero indica la ruta que deberá seguir la célula para llegar al destino, identifica el camino virtual asignado a la conexión. El segundo marca el canal virtual en el que debe transmitirse la célula según al servicio que pertenezca. Todas las células de un mismo servicio se transportan dentro

del mismo VCI. Dentro de un camino virtual pueden existir varios canales virtuales. Con los dos indicadores quedará perfectamente clara la ruta de una conexión. Pudiéndose soportar teóricamente 4.096 caminos virtuales y 65536 canales virtuales.

Hay que hacer una puntualización a la figura anterior, ya que corresponde a una célula que fluye por el NNI (interfaz red- red, Network-Network interface), es decir entre los conmutadores de la red. En caso de que fuera una célula del interfaz UNI (interfaz usuario- red, User-Network Interface) el campo VPI sería menor (pasaría a ser de 8 bits) porque los cuatro primeros bits de la cabecera formarían otro campo llamado GFC, control de flujo genérico (*Generic Flow Control*), que permite establecer control sobre el flujo que se emite en el interfaz UNI.

- PTI. Identificador de carga útil: Los tres bits que forman el campo PTI (*Payload Type Identifier*) permitirán identificar el tipo de carga que lleva la célula: tráfico normal o tráfico de control (señalización u operación y mantenimiento de la red).

- Identificación de prioridad de pérdida de células, Cell Loss Priority (CLP): Este campo puede tomar los valores 0 o 1. Con ello, se indica una prioridad mayor o menor en la célula para ser desechada en cualquier momento por la red. Así, se está asegurando los recursos para mantener una buena comunicación, ya que la red marcará aquellas células que incumplan el contrato o que se puedan perder causando un menor perjuicio a los servicios y serán éstas las células que se pierdan en caso de que la sobrecarga de la red así lo requiera. De este modo se protege al resto de las células.

- HEC. Detección y corrección de errores en la cabecera: El nombre del campo viene de las siglas inglesas de *Header Error Detection*. Su función es la de detectar y corregir los posibles errores que puedan producirse en la transmisión de cualquier campo de la cabecera de la célula. La información que transporta la cabecera es de suma importancia, ya que de ella depende que las células se entreguen en el lugar de destino correcto y que se las gestione según la prioridad que tengan asignada. Esa es la razón de que se dedique un octeto completo sólo a la detección de errores en la cabecera.

## 6.5. Canales virtuales y caminos virtuales

Las células generadas en la UNI por distintos servicios se transmiten a través de un único enlace al siguiente nodo de la red. Todas las células son distribuidas dentro de este único enlace en distintos canales virtuales (VC). Cada canal virtual contiene las células de un servicio. De esta forma distintas conexiones con distintas características se transmiten por un enlace físico. Varios canales virtuales agrupados forman un camino virtual (VP), se puede ver como un conjunto de VC en paralelo. El canal virtual es unidireccional y está identificado por su VCI y por el VPI del camino virtual que lo soporta. Todas las células de una misma conexión tienen el mismo VPI/VCI que se mantiene constante hasta llegar a algún nodo de conmutación. De esta forma se pueden establecer rutas lógicas entre dos nodos cualesquiera. Se llama conexión de canal virtual (VCC) a la concatenación de una serie de canales virtuales entre el transmisor de la información y el receptor de la misma.

Como se mencionó anteriormente, tanto el VPI como el VCI se transmiten en la cabecera de la célula. Estos identificadores no tienen significado extremo a extremo, esto es, su significado se limita a cada enlace concreto de la conexión; identifican un canal lógico dentro de un enlace físico. Cuando la célula llega a un elemento de conmutación se busca el VPI/VCI en la tabla de encaminamiento y se envía la célula por el puerto de salida que le corresponda, cambiando el valor del identificador que fuera necesario. Las tablas de encaminamiento se van creando a medida que se van estableciendo conexiones y permanecen constantes hasta que éstas se cierran.

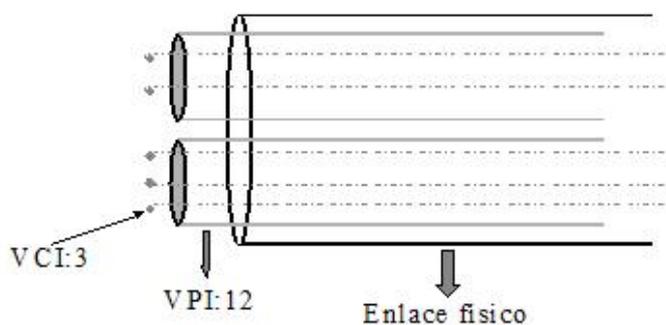


Figura 2: Camino Virtual y canal virtual

Cuando se habla de VC en ATM debe quedar claro que se trata de una abstracción mediante la cual se designa un transporte unidireccional de células asociado a un identificador: el VCI. Tanto el VCI como el VPI indicarán por lo tanto, un flujo ordenado de células asociado a una conexión concreta. El concepto de VCC puede parecer sin embargo un poco más complejo. Para facilitar su comprensión se incluye la Figura 3 en la que se puede apreciar claramente una conexión de caminos virtuales.

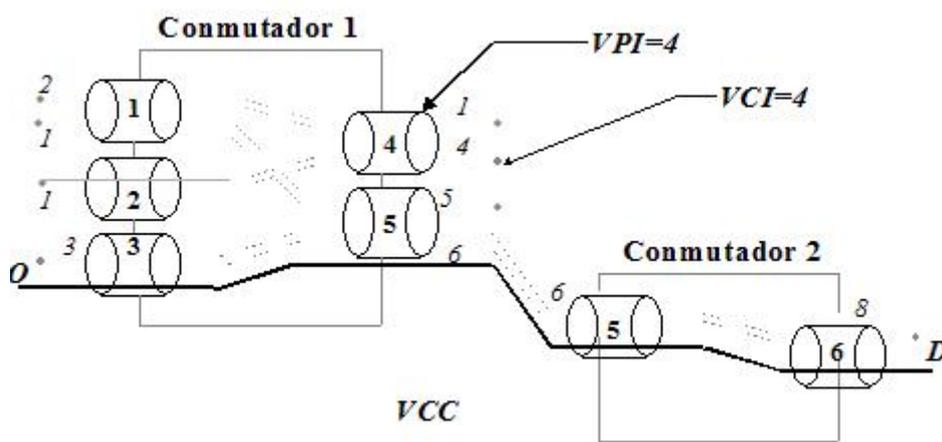


Figura 3: Concatenación de caminos virtuales

### 6.5.1. Canales y caminos virtuales en STM

En la multiplexación por división en el tiempo síncrono (STDM) se asigna a cada usuario una ranura de tiempo periódica. Todas las ranuras son de igual duración. Así, se forman tramas con ranuras de repetición periódica y queda la capacidad del canal dividida en canales de tamaño constante  $C/n$ . Donde  $C$  es la capacidad total del canal y  $n$  es el número de usuarios que lo comparten.

La denominación de 'síncrono' para este modo de transferencia se debe a que la información de un determinado usuario se encuentra periódicamente en el canal. El usuario tiene reservada una cierta ranura en el canal cada

periodo de tiempo  $T$ . Si no tuviese nada que transmitir en el intervalo que tiene designado, la ranura quedaría vacía.

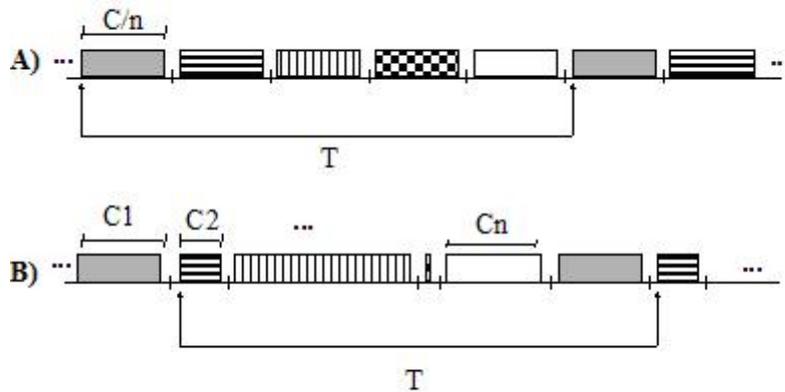


Figura 4: Trama STM (A) y STM multicadencia(B)

En la Figura 4 se ha incluido un esquema de STM multicadencia. Es una variación de STM en la que los canales no tienen la misma capacidad. Como ventaja presenta la posibilidad de multiplexar tráfico que requieran distintos anchos de banda. Como inconvenientes, además del desaprovechamiento de capacidad cuando un usuario no transmite, presenta unos requerimientos particulares en la conmutación, ya que las distintas capacidades requieren velocidades de conmutación diferentes.

### 6.5.2. Canales y caminos virtuales en ATM

En ATM se asignan las capacidades requeridas por los servicios de forma dinámica mediante paquetes de longitud fija. La multiplexión por división en el tiempo es asíncrona. Esto es, los usuarios no disponen de una ranura de tiempo asignada cada periodo de tiempo. Ahora, la forma de determinar al usuario en el canal no es gracias a la identificación de la ranura de tiempo que le corresponde sino gracias a la cabecera de las células. Así, un usuario no aparece de forma síncrona en el canal sino que lo hará en función de la capacidad que requiera dependiendo del tipo de tráfico que lleve. Por esto se le da la denominación de 'asíncrono' a este modo de transferencia. No debe pensarse que la transmisión es asíncrona, sólo lo es la multiplexión de la información. Como los usuarios no tienen reservadas ranuras fijas, ya no se desaprovecha tanto la capacidad del canal, y debido a

que el tamaño asignado a cada usuario no es constante, se puede multiplexar tráfico de distintos tipos de fuentes.

Como se ha visto, STM y ATM se rigen por diferentes reglas a la hora de asignar la capacidad utilizable en los canales. Mientras que STM asigna a cada canal una ranura de tiempo periódica, en ATM la capacidad utilizable (ancho de banda) se segmenta en unidades de longitud fija orientadas a la información (células). La estructura de un interfaz ATM consiste en un grupo de canales etiquetados, pero sin una posición fija. Dichos canales no están limitados a un pequeño número de valores fijos de tasa de bit (como ocurre en STM multicadencia). Los servicios se mezclan y las tasas de transferencia de la información se separan en el conmutador. No se requiere una asignación de ranuras de tiempo a los canales ante un establecimiento de llamada.

En comparación con los equipos para STM, los multiplexadores y conmutadores ATM son menos dependientes de las tasas de bits de los diferentes servicios. Los equipos ATM pueden soportar gran variedad de servicios con diferentes tasas de transferencia sin las complicaciones asociadas con la demultiplexación de canales con una posición predeterminada y fija dentro de una trama. Todo ello hace innecesarios los circuitos dependientes de la tasa de bits, lo que permite una mayor integración de la red.

Por su propia filosofía, el modo de transferencia síncrono conlleva una cierta rigidez. Se basa en transmitir la información en tramas periódicas. Dentro de cada trama un canal tiene su situación específica y una tasa de bits concreta. Todo ello limita sus posibilidades como estructura base en la red de banda ancha donde, lo que se pretende, es transmitir cualquier tipo de información (voz, datos, vídeo) a cualquier velocidad. Esto explica que se descartara STM dejando paso a ATM como el modo de transferencia estándar en la RDSI-BA.

## 6.6 Descripción del proceso ATM

El esquema básico general de una red ATM sería:

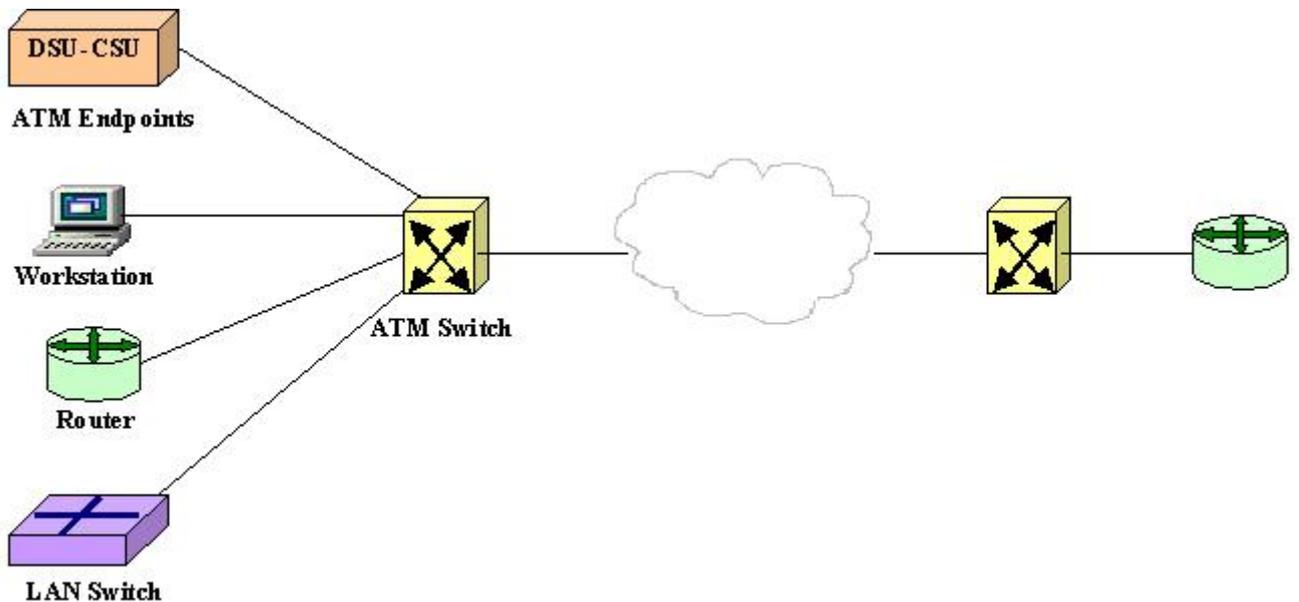


Figura 5: Red ATM

Donde la red funcionaría de manera totalmente transparente para los usuarios una vez pasado el primer nodo de conmutación (*switch*).

Con esta tecnología, a fin de aprovechar al máximo la capacidad de los sistemas de transmisión, sean estos de cable o radioeléctricos, la información no es transmitida y conmutada a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes (celdas ATM) de longitud constante y que pueden ser enrutadas individualmente mediante el uso de los denominados canales virtuales y trayectos virtuales.

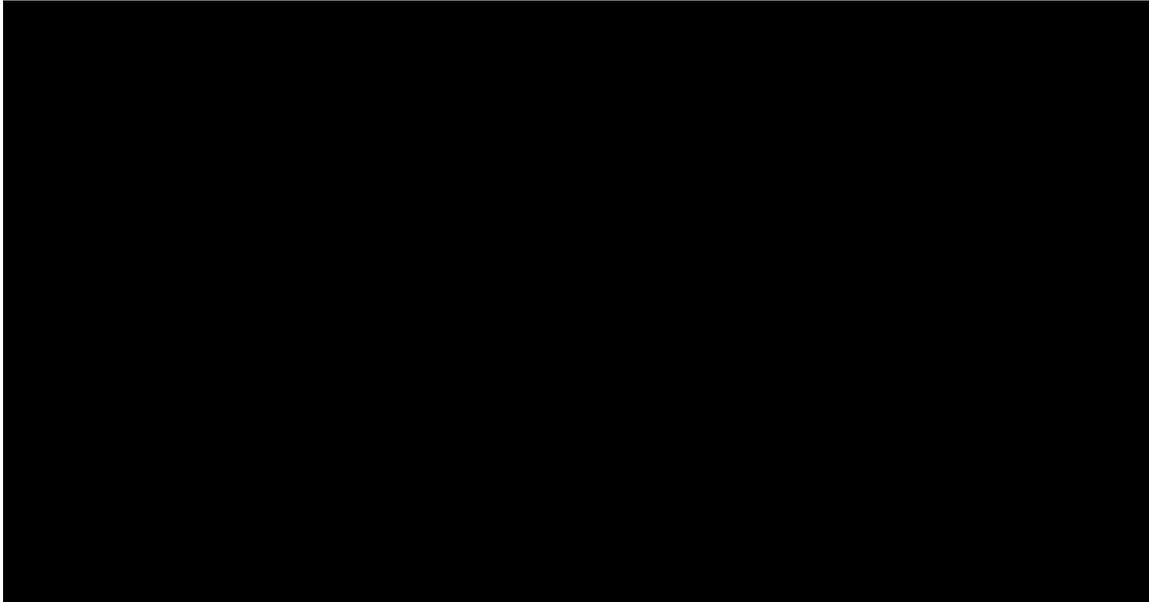


Figura 6: Diagrama simplificado del proceso ATM.

En la Figura 6 se ilustra la forma en que diferentes flujos de información, de características distintas en cuanto a velocidad y formato, son agrupados en el denominado Módulo ATM para ser transportados mediante grandes enlaces de transmisión a velocidades (bit rate) de 155 o 622 Mbits/s facilitados generalmente por sistemas SDH.

En el terminal transmisor, la información es escrita byte a byte en el campo de información de usuario de la celda y a continuación se le añade la cabecera.

En el extremo distante, el receptor extrae la información, también byte a byte, de las celdas entrantes y de acuerdo con la información de cabecera, la envía donde ésta le indique, pudiendo ser un equipo terminal u otro módulo ATM para ser encaminada a otro destino. En caso de haber más de un camino entre los puntos de origen y destino, no todas las celdas enviadas durante el tiempo de conexión de un usuario serán necesariamente encaminadas por la misma ruta, ya que en ATM todas las conexiones funcionan sobre una base virtual.

## 6.7. Proceso de conmutación en ATM

Un conmutador es un elemento de la red cuya función primordial es trasladar la información de un canal lógico entrante al canal lógico saliente que le corresponda. Es importante seleccionar correctamente el canal de salida para obtener un buen funcionamiento de la red. Este procedimiento de elección de ruta de salida se conoce como enrutado o encaminado.

Las células ATM portan un campo destinado a la corrección de errores singulares que se producen sobre la información de la cabecera (campo HEC). Sin embargo, no hay ningún tipo de protección para los datos de usuario, y si fuese necesaria una retransmisión, ésta se produciría extremo a extremo. De ahí la importancia que tiene en los conmutadores ATM poder proporcionar a las células recibidas un lugar donde puedan esperar hasta ser reenviadas. El proceso de almacenamiento temporal de células en los búferes de tamaño finito del conmutador se llama encolado.

El funcionamiento de los conmutadores ATM se caracteriza por el volumen de información que pueden procesar, la tasa de bits erróneos, el retardo de conmutación, la probabilidad de células perdidas y la fluctuación en el retardo.

En los conmutadores ATM, el volumen de información que se puede procesar y la tasa de bits erróneos los determinan principalmente la tecnología y las dimensiones del sistema. El uso de tecnologías de alta velocidad como BICMOS o ECL proporcionan fácilmente cientos de Mb/s con tasas de error aceptables. A continuación se definen los parámetros que merecen especial atención en el caso de los conmutadores ATM.

### 6.7.1. Probabilidad de pérdida de células

En los conmutadores ATM La pérdida de una célula se produce cuando muchas células son destinadas al mismo enlace, dándose la situación de que el número de células es superior al de estados libres en la cola. Siendo imposible almacenarlas todas. La probabilidad de pérdida debe mantenerse dentro de unos límites, valores típicos los sitúan entre  $10^{-8}$  y  $10^{-11}$ .

### 6.7.2. Retardo de conmutación

Es el tiempo que tarda una célula en atravesar el conmutador hacia su destino. Valores típicos varían entre 10 y 1000 $\mu$ s con una oscilación de 100 $\mu$ s aproximadamente.

### 6.7.3. Tipos de conmutadores en ATM

La conmutación en ATM puede ser realizada a distintos niveles, ya que normalmente se tienen redes jerárquicas. Sin embargo, la arquitectura de los conmutadores, independientemente del nivel jerárquico en el que se encuentre trabajando el conmutador, es la misma.

Los conmutadores pueden ser clasificados en función de la arquitectura de la fábrica de conmutación.

- Matricial: Como su nombre indica, la red de interconexión interna de este tipo de conmutadores se forma gracias a una matriz de interconexión. De esta forma se puede conectar cualquier entrada con cualquier salida.

- Medio compartido (bus, anillo): En el caso del bus todas las células se transportan en paralelo por el mismo medio. Cada puerto de entrada podrá transferir su célula hacia el destino correspondiente antes de que llegue la siguiente célula, por lo que no harían falta buffers a la entrada de este tipo de conmutadores. No obstante, no sucede lo mismo en los puertos de salida, ya que existe la posibilidad de que a un mismo puerto vayan dirigidas varias células. Sí se requieren de este modo colas a la salida.

- De memoria central: Se basa en la existencia de una memoria central compartida por todos los puertos de entrada y todos los de salida. Cualquier puerto de entrada puede escribir en la memoria que puede ser leída por cualquiera de los puertos de salida.

Fábrica de conmutación es la traducción española del término *switching fabric*, con el que se denomina, en tecnología ATM, a la parte del conmutador que se encarga del encaminamiento de las células desde su punto de entrada al de la salida.

### 6.7.3.1. Tipos de conmutadores matriciales

Los conmutadores con matriz de interconexión (matriciales) pueden a su vez clasificarse en función de la ubicación de la memoria de almacenamiento de células. A continuación, se presentan los diversos tipos.

- Colas a la entrada del conmutador: Las células se almacenan en la entrada evitando así que se produzcan pérdidas en esta parte del conmutador. A la hora de ser servidas, podrán serlo aleatoriamente o por turnos definidos anteriormente (FIFO, LIFO...). El mayor problema que presentan las colas a la entrada es el denominado en la bibliografía como bloqueo en la cabecera de la línea (traducción del término inglés *Head of line blocking*). En este fenómeno, debido a que a la salida no hay colas, el conmutador podrá enviar más de una célula a una determinada salida y en caso de que muchas células quieran ir a la misma salida, y como no pueden ser enviadas más que de una en una, deberán ser retenidas a la entrada bloqueando a otras células que, aunque comparten la cola con ellas, se dirigen a una salida libre de congestión. De esta forma no sólo sufren retraso las células dirigidas a la salida que da origen al problema, sino todas las células del sistema. El esquema del conmutador con colas a la entrada se puede ver en la Figura 7:

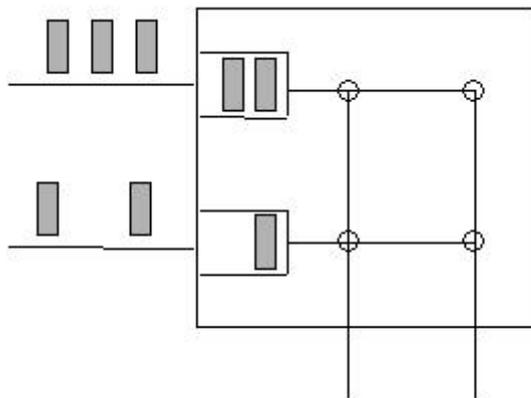


Figura 7: Conmutador con colas a la entrada

- Colas en los puntos de cruce: En esta arquitectura se colocará una cola por cada punto de cruce de la matriz. Así se evita el bloqueo en la cabecera de la línea, pero sus requerimientos de memoria son muy superiores. También es necesaria la utilización de un filtro a la entrada que reconozca la salida a la que va dirigida cada célula para ubicarla en la cola correspondiente. El esquema se muestra en la Figura 8:

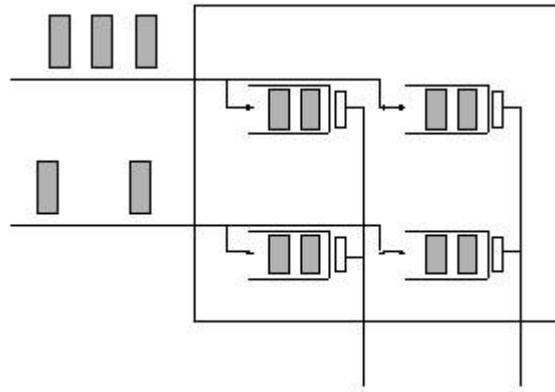


Figura 8: Conmutadores con colas en los puntos de cruce.

- Colas a la salida del conmutador: Es la técnica de ubicación de memoria que obtiene una mejor relación retraso-rendimiento. La colocación de las colas da lugar a que en una rendija de tiempo se puedan transferir más de una célula a una misma salida. Para asegurar que no se pierde ninguna célula la transferencia debe ser  $N$  veces más rápida que la entrada de las mismas. Donde  $N$  es el número de entradas. Las colas a la salida también evitan que se produzca el bloqueo en la cabecera de la línea. En la Figura 9 se esquematiza este tipo de conmutador:

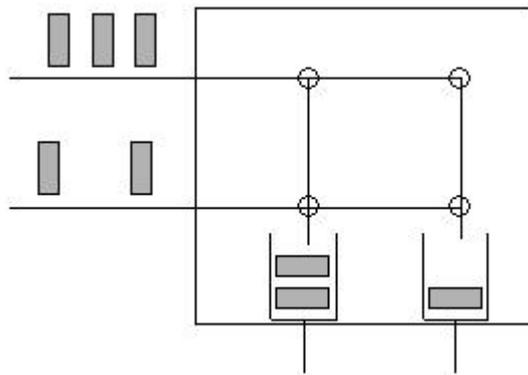


Figura 9: Conmutadores con colas a la salida

La elección de una arquitectura determinada no sólo depende de la tecnología hardware disponible sino también de las características de la red. Por ello, la selección de la tecnología apropiada estará influenciada por muchos factores y cambiará con el tiempo.

#### 6.8. Gestión de tráfico y calidad de servicio en ATM

La tecnología ATM se caracteriza por su capacidad de soportar simultáneamente tráfico proveniente de distintas fuentes con características dispares.

Una aplicación desarrolla sobre ATM deberá especificar a la red el ancho de banda que requiere para la transmisión de los datos así como la calidad de servicio que pretende obtener de la red. Esto lo realiza por medio de un "contrato de tráfico". En él se especifican categoría de servicio, calidad de

servicio requerida (*Grade of Service, GOS*) y características de tráfico de la conexión.

La red y el usuario negociarán estos parámetros en función de los recursos disponibles de la red.

#### 6.8.1. *Categorías de servicio*

Se han definido una serie de categorías de servicio de forma que con ellas se puedan cubrir el espectro de todas las aplicaciones existentes usando las redes ATM. Dependiendo del tipo de tráfico que configure el servicio, éste se asociará a una categoría u otra. Las categorías de servicio son:

- CBR: (*Constant bit rate*) Servicio de tasa de bits constante.
- VBR: (*Variable bit rate*) Servicio de tasa de bits variable.
- ABR: (*Available bit rate*) Servicio de tasa de bits disponible.
- UBR: (*Unspecified bit rate*) Servicio de tasa de bits no especificada.

A los servicios CBR y VBR el ancho de banda se les asigna cuando la conexión es admitida. Esta asignación se considera vigente durante todo el tiempo que dure la conexión aunque haya momentos en que ésta lo infrutilice. La red requerirá maximizar la utilización del ancho de banda si quiere ser realmente efectiva. Para ello, deberá aprovechar los intervalos en los que las conexiones que tienen ancho de banda asignado permanecen ociosas. ABR y UBR utilizan el ancho de banda desaprovechado por otras conexiones. Se les asigna de forma dinámica, por ello también se les conoce como servicios de ancho de banda en demanda. Debe quedar claro que las conexiones CBR o VBR no utilizan constantemente el ancho de banda que les fue asignado en el establecimiento de la conexión, pero cuando lo requieran deberán tenerlo siempre a su disposición, pudiendo ser utilizado en el resto de las situaciones para lo que la red disponga.

#### 6.8.1.1. Servicio CBR (*Constant Bit Rate*)

Es el tipo de servicio elegido para soportar aplicaciones en tiempo real. Estas aplicaciones son fundamentalmente aquellas que contienen información audio o de vídeo. En ellas los requerimientos de retardo son muy estrictos y el sistema final podría ser muy sensible a las variaciones del retraso extremo a extremo. La aplicación puede que sea intermitente por naturaleza pero el ancho de banda se le asigna durante toda la conexión aunque no sea necesario.

El servicio CBR proporciona una conexión con ancho de banda dedicado con una probabilidad de pérdida extremadamente baja, así como un retraso predecible. El tiempo entre llegadas de las células es constante y puede ser caracterizado en función de un tiempo mínimo entre llegadas que se podrá conocer en función de la tasa pico de emisión (PCR).

#### 6.8.1.2. Servicio VBR (*Variable Bit Rate*)

Esta categoría de servicio va dirigida fundamentalmente a soportar aplicaciones de vídeo y tráfico del tipo FR (*frame relay*), así como cualquier otra aplicación que utilice tráfico con características de intermitencia conocidas o predecibles. El tráfico del servicio VBR se caracteriza principalmente por los parámetros PCR y SCR (tasa media de transmisión). El ancho de banda que se le asignará será menor que el ancho de banda pico y mayor o igual que el valor medio del mismo.

Esta categoría de servicio está a su vez dividida en dos subcategorías basadas en los requerimientos de retardo de las aplicaciones. Son la VBR de tiempo real (rt-VBR) y VBR sin requerimientos de tiempo real (nrt-VBR). La primera tiene requerimientos muy estrictos de retardo, luego no debe ser almacenada extensivamente en su recorrido por la red. La nrt-VBR no garantiza ninguna cota del retardo así que puede ser almacenada con mayor libertad.

#### *6.8.1.3. Servicio ABR ( Available Bit Rate)*

Se utiliza para aplicaciones que no conocen a priori las características de su tráfico. Estas serán aplicaciones moderadamente sensibles a la pérdida de células y no tendrán las restricciones de tiempo que presentan las aplicaciones en tiempo real.

El servicio ABR garantizará un mínimo de ancho de banda y puede limitar la transmisión a la tasa pico. La fuente de tráfico ABR participará activamente en los protocolos de control para minimizar las pérdidas de células por la red.

#### *6.8.1.4. Servicio UBR ( Unspecified Bit Rate)*

Es un servicio muy simple desde el punto de vista de control de tráfico, ya que cualquier aplicación UBR puede usar tanto ancho de banda como quiera mientras esté disponible. Pero la red no garantiza ni siquiera un mínimo de ancho de banda a este tipo de conexiones. Se utiliza para los mismos casos que ABR pero siempre que la aplicación pueda soportar grandes pérdidas de células. También llamado servicio best effort.

#### *6.8.1.5. Gestión de tráfico*

El objetivo que se busca es prestar servicios con la calidad pedida por los usuarios manteniendo una buena utilización de los recursos de la red. Para ello es necesario establecer una buena gestión del tráfico que fluye por la red. Esto se consigue gracias a las funciones que se describen en este apartado.

#### *6.8.1.6. Control de admisión de conexiones (CAC)*

Se considera la primera forma de protección de la red contra una carga excesiva. Cuando un usuario pide una nueva conexión, debe especificar las

características del tráfico que requerirá la misma. También seleccionará el grado de servicio (QOS) de entre los posibles grados de servicio que la red puede ofrecer. La red debe examinarse a sí misma contemplando la posibilidad de aceptar la nueva conexión y el efecto que tendría sobre las demás conexiones ya aceptadas. La red aceptará la nueva conexión siempre que pueda soportar la nueva carga con la calidad pretendida por el usuario sin que vaya en detrimento de las demás conexiones existentes. Si se accede a la petición, la red se compromete a mantener el servicio con la calidad pactada.

#### *6.8.1.7. Control de parámetros de uso (UPC)*

También llamado control policía. Durante la fase de transferencia, la red comprueba si el tráfico de las conexiones se ajusta a lo pactado en el contrato que se hizo en la CAC. El objetivo principal del UPC es proteger los recursos de la red de las conexiones que pudieran saturar los recursos por incumplimiento del contrato. Cuando la red detecta alguna violación por parte de una conexión tomará medidas que irán desde marcar sus células como 'células de descarte preferente' (usando el campo CLP de la cabecera) hasta descartar directamente las células, o incluso liberar la conexión en caso de que tuviera problemas en la red.

#### *6.8.1.8. Control de prioridad (PC)*

Este control entra en juego cuando el sistema debe descartar células para conseguir un buen funcionamiento de la red. El objetivo estará entonces en eliminar aquellas células que tienen prioridad menor. Hay que reparar en que la red no es capaz de distinguir entre aquellas células que fueron marcadas de baja prioridad desde la fuente y las que son marcadas por la función UPC.

#### 6.8.1.9. Conformado de tráfico (*traffic shaping*)

Esta función va ligada al control policía pero se lleva a cabo por parte del usuario de la red. Este, para evitar las medidas del UPC, evalúa el cumplimiento del contrato de forma periódica de forma que si detecta violaciones del mismo rectifica la conducta de la fuente hasta ajustarse a lo pactado con la red.

#### 6.8.1.10. Control de flujo

Sólo se usa para servicios ABR. Se basa en la realimentación desde la red al usuario. Indica al usuario el estado de la red para que éste controle su tasa ajustándola al ancho de banda disponible en cada momento. Se utilizarán un tipo de células especiales llamadas RM que son células para la gestión de recursos (*Resource Management*) que tienen campos específicos para poder controlar el tráfico.

### 6.9 Protocolo ATM

El protocolo ATM consiste de tres niveles o capas básicas. La primera capa llamada capa física (*Physical Layer*), define los interfases físicos con los medios de transmisión y el protocolo de trama para la red ATM es responsable de la correcta transmisión y recepción de los bits en el medio físico apropiado. A diferencia de muchas tecnologías LAN como Ethernet, que especifica ciertos medios de transmisión, (10 base T, 10 base 5, etc.) ATM es independiente del transporte físico. Las celdas ATM pueden ser transportadas en redes SONET, SDH, T3/E3, TI/EI o aún en modems de 9600 b/s. Hay dos subcapas en la capa física que separan el medio físico de transmisión y la extracción de los datos:

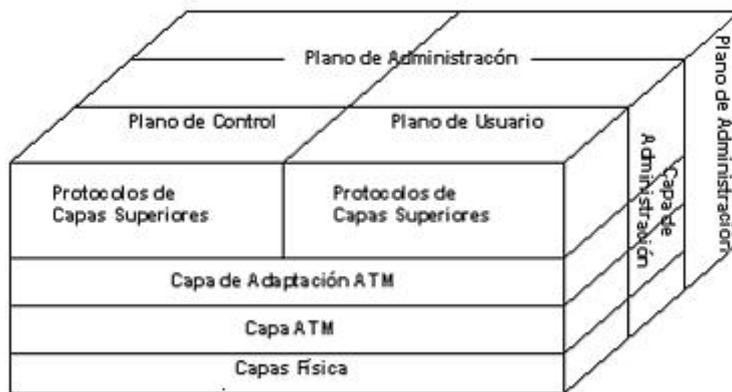


Figura 10: Protocolo ATM

La subcapa PMD (*Physical Medium Dependent*) tiene que ver con los detalles que se especifican para velocidades de transmisión, tipos de conectores físicos, extracción de reloj, etc., Por ejemplo, la tasa de datos SONET que se usa, es parte del PMD. La subcapa TC (*Transmission Convergence*) tiene que ver con la extracción de información contenida desde la misma capa física. Esto incluye la generación y el chequeo del HEC (*Header Error Corrección*), extrayendo celdas desde el flujo de bits de entrada y el procesamiento de celdas "idles" y el reconocimiento del límite de la celda. Otra función importante es intercambiar información de operación y mantenimiento (OAM) con el plano de administración.

La segunda capa es la capa ATM. Ello define la estructura de la celda y cómo las celdas fluyen sobre las conexiones lógicas en una red ATM, esta capa es independiente del servicio. El formato de una celda ATM es muy simple. Consiste de 5 bytes de cabecera y 48 bytes para información.

Las celdas son transmitidas serialmente y se propagan en estricta secuencia numérica a través de la red. El tamaño de la celda ha sido escogido como un compromiso entre una larga celda, que es muy eficiente para transmitir largas tramas de datos y longitudes de celdas cortas que minimizan el retardo de procesamiento de extremo a extremo, que son buenas para voz, vídeo y protocolos sensibles al retardo. A pesar de que no se diseñó específicamente para eso, la longitud de la celda ATM acomoda convenientemente dos *Fast Packets* IPX de 24 bytes cada uno.

Los comités de estándares han definido dos tipos de cabeceras ATM: los *User-to-Network Interface* (UNI) y la *Network to Network Interface* (NNI). La UNI es un modo nativo de interfaz ATM que define la interfaz entre el equipo del cliente (*Customer Premises Equipment*), tal como hubs o routers ATM y la red de área ancha ATM (ATM WAN). La NNI define la interfase entre los nodos de la redes (los *switches* o conmutadores) o entre redes. La NNI puede usarse como una interfase entre una red ATM de un usuario privado y la red ATM de un proveedor público (*carrier*).

Específicamente, la función principal de ambos tipos de cabeceras de UNI y la NNI, es identificar las "*Virtual paths identifiers*" (VPIS) y los "*virtual circuits*" o "*virtual channels*"(VCIS) como identificadores para el ruteo y la conmutación de las celdas ATM.

#### 6.9.1 La capa de adaptación de ATM

La tercer capa es la *ATM Adaptation Layer* (AAL). La AAL juega un rol clave en el manejo de múltiples tipos de tráfico para usar la red ATM, y es dependiente del servicio. Específicamente, su trabajo es adaptar los servicios dados por la capa ATM a aquellos servicios que son requeridos por las capas más altas, tales como emulación de circuitos, (*circuit emulation*), vídeo, audio, frame relay, etc. La AAL recibe los datos de varias fuentes o aplicaciones y las convierte en los segmentos de 48 bytes. Cinco tipos de servicio AAL están definidos actualmente:

La capa de Adaptación de ATM yace entre la capa ATM y las capas más altas que usan el servicio ATM. Su propósito principal es resolver cualquier disparidad entre un servicio requerido por el usuario y atender los servicios disponibles de la capa ATM. La capa de adaptación introduce la información en paquetes ATM y controla los errores de la transmisión. La información transportada por la capa de adaptación se divide en cuatro clases según las propiedades siguientes:

- Que la información que esta siendo transportada dependa o no del tiempo.
- Tasa de bit constante/variable.
- Modo de conexión.

Estas propiedades definen ocho clases posibles, cuatro se definen como B-ISDN Clases de servicios. La capa de adaptación de ATM define 4 servicios para equiparar las 4 clases definidas por B-ISDN:

- AAL-1
- AAL-2
- AAL-3

- AAL-4

La capa de adaptación se divide en dos subcapas:

1) Capa de convergencia (*convergence sublayer (CS)*) :

En esta capa se calculan los valores que debe llevar la cabecera y la carga útil del mensaje. La información en la cabecera y en el payload depende de la clase de información que va a ser transportada.

2) Capa de Segmentación y reensamblaje (*segmentation and reassembly (SAR)*):

Esta capa recibe los datos de la capa de convergencia y los divide en trozos formando los paquetes de ATM. Agrega la cabecera que llevara la información necesaria para el reensamblaje en el destino.

La Figura 11 siguiente aporta una mejor comprensión de ellas. La subcapa CS es dependiente del servicio y se encarga de recibir y paquetizar los datos provenientes de varias aplicaciones en tramas o paquete de datos longitud variable.

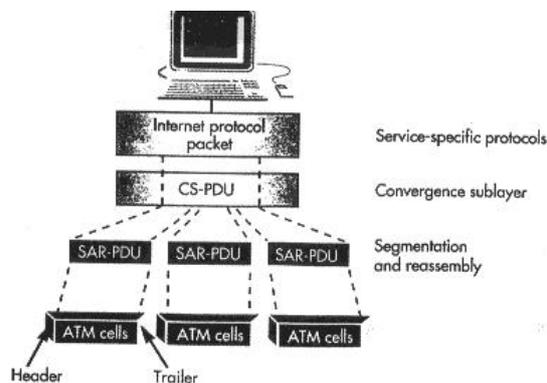


Figura 11: Trama ATM

Estos paquetes son conocidos como (CS - PDU) Convergence sublayer protocol data units.

Luego, la subcapa recibe los SAR CS - PDU, los reparte en porciones del tamaño de la célula ATM para su transmisión. También realiza la función inversa (reensamblado) para las unidades de información de orden

superior. Cada porción es ubicada en su propia unidad de protocolo de segmentación y reensamble conocida como (SAR - PDU) segmentation and reassembler protocol data unit, de 48 bytes.

Finalmente cada SAR - PDU se ubica en el caudal de células ATM con su cabecera y carga útil respectivos.

## 6.10 Problemas en ATM

En el pasado los protocolos de comunicaciones de datos evolucionaron en respuesta a circuitos poco fiables. Los protocolos en general detectan errores en bits y tramas perdidas, luego retransmiten los datos.

Los usuarios puede que jamás vean estos errores reportados, la degradación de respuesta o de caudal (*throughput*) serían los únicos síntomas.

A diferencia de los mecanismos de control extremo a extremo que utiliza TCP en internet working, la capacidad de Gbit/seg de la red ATM genera un juego de requerimientos necesarios para el control de flujo. Si el control del flujo se hiciese como una realimentación del lazo extremo a extremo, en el momento en que el mensaje de control de flujo llegase a la fuente, ésta habría transmitido ya algunos Mbytes de datos en el sistema, generando congestión. Y en el momento en que la fuente reaccionase al mensaje de control, la condición de congestión hubiese podido desaparecer apagando innecesariamente la fuente. La constante de tiempo de la realimentación extremo a extremo en las redes ATM (retardo de realimentación por producto lazo - ancho de banda) debe ser lo suficientemente alta como para cumplir con las necesidades del usuario sin que la dinámica de la red se vuelva impracticable.

Las condiciones de congestión en las redes ATM están previstas para que sean extremadamente dinámicas requiriendo de mecanismos de hardware lo suficientemente rápidos para llevar a la red al estado estacionario, necesitando que la red en sí, éste activamente involucrada en el rápido establecimiento de este estado estacionario. Sin embargo, esta aproximación simplista de control reactivo de lazo cerrado extremo a extremo en condiciones de congestión no se considera suficiente para las redes ATM.

## 6.11 Evolución de las redes ATM

En todas las redes existen gran variedad de elementos hardware (switchs, routers, bridges, brouters, hubs, ETDs, etc.) que realizan muy diversas funciones (conmutación, routing, puenteo, controles de congestión y de flujo, garantía de QoS, ejecución de aplicaciones, etc.). En la actualidad la red es mayormente un canal de comunicación para transferir paquetes entre equipos finales (ayudada por los elementos hardware antes citados). Pero también se están realizando importantes esfuerzos para equipar a los elementos hardware con elevadas prestaciones aportadas por diversas técnicas software. Esto dota a la red de características activas en el sentido de que los elementos hardware que la componen computan, modifican u operan los contenidos de los paquetes y también serán capaces de transferir o propagar código con todo ello se conseguiría que una red activa sea una red programable.