

# EVOLUCIÓ DELS SISTEMES DE TRANSMISSIÓ DE DADES

*SEBASTIÀ SALLEN*

Departament de Matemàtica Aplicada i Telemàtica.  
ETSETB. UPC.

Apartat 30002. Barcelona 08034

## 1. INTRODUCCIÓ

En les dues darreres dècades ens hem acostumat a veure un vertiginós canvi tecnològic en l'àrea de les telecomunicacions que ens ha dut a observar els nous avenços, els nous sistemes, com a fets completament usuals dins les nostres vides. Res no ens sorprèn, sembla que tot sigui possible, transmissió d'imatges, veu, documents, terminals que fan multiplicitat de funcions i presenten diversos tipus d'informació simultàniament i en temps real. Aquesta carrera frenètica d'arribar a una comunicació integral a distància, de presentar multiplicitat de serveis al nostre abast, està revolucionant i revolucionarà el nostre sistema de vida.

És usual poder consultar les dades bancàries o treure diners en els caixers automàtics: ja no ho és tant encomanar mercaderies als grans magatzems des de la pròpia llar o consultar algunes bases de dades del nostre municipi, del banc, o la borsa. Probablement en un futur immediat existiran terminals multimitjà (veu, dades, imatge i vídeo) que estaran íntimament relacionats amb gran part de les nostres activitats: control integral dels principals estris de la llar (calefacció, cuina, il·luminació, alarmes, etc.), interacció amb diverses entitats (banca, escola, grans magatzems, etc.), o desenvolupar el treball dels del propi domicili.

Aquesta evolució que aparentment és tan lineal està essent possible gràcies als avenços en els camps de la informàtica i la telecomunicació i la seva interrelació: la Telemàtica. Aquest creixement continu, la incorporació de nous mitjans de comunicació (ràdio, fibra òptica, etc.), de noves formes de telecomunicació (oral, escrita, visual, etc.) generen cada cop més serveis telemàtics que es tornen en contra del seu propi creixement.

Si mirem l'entorn telemàtic d'una oficina mitjanament mecanitzada, trobarem un telèfon (comunicació oral fent ús de la xarxa telefònica convencional) terminals de dades interconnectats als ordinadors de l'oficina (intercanvi de dades mitjançant xarxes d'àrea local), terminals de dades interactius que comuniquen la nostra oficina amb altres sucursals o altres entitats (transmissió de dades mitjançant la xarxa pública de dades), etc. En un primer cop d'ull ens adonem de la diversitat de sistemes, de mitjans físics i de modes de funcionament que fem per a comunicar-nos, així com de les grans inversions que s'han dut i es duen a terme en incorporar un nou sistema. Tanmateix existeixen incompatibilitats a l'hora d'interconnectar dispositius de funcionalitats semblants. Davant aquest panorama desolador i irracional, l'evolució natural consisteix a crear sistemes telemàtics que siguin capaços d'incorporar gradualment els nous serveis que vagin naixent i a la vegada siguin capaços d'interconnectar-se amb l'entorn on estan immersos.

Per tal de poder entendre la realitat actual i l'immediat futur telemàtic farem una breu història, descripció i característiques de la evolució de les principals xarxes de transmissió de dades.

## 2. NAIXEMENT DE LA TELEMÀTICA

En el segle passat, el descobriment de l'electricitat donà les bases al naixement de la telecomunicació, intercanvi d'informació entre usuaris remots mitjançant l'electromagnetisme. La primera experiència la dugué a terme Morse l'any 1867 transmetent dades, caràcters de l'alfabet i nombres, utilitzant el fil de coure com a mitjà de transmissió: naixia el telègraf. Posteriorment Graham Bell, l'any 1887, aconseguí transmetre la parla entre dos usuaris remots: naixia el telèfon. El 1892 s'establí la primera comunicació telefònica entre Nova York i Chicago.

El telèfon, el sistema telefònic, ha estat el representant més important de la tecnologia analògica (sistemes on els paràmetres electromagnètics tenen diversitat de nivells). Cal destacar que malgrat que el telègraf fou el primer sistema digital (sistemes que treballen amb nivells preestablerts) aquesta tecnologia quedà paralitzada fins a la segona meitat del segle vint, que es tornà a emprar amb el naixement dels microprocessadors. Així, atès el primitiu estat de la tecnologia digital entre la segona meitat del segle XIX i la primera meitat del segle XX, el sistema de telecomunicació imperant fou el telèfon, seguit molt de lluny pel telègraf. Aquell s'emprà per a la comunicació continental i el telègraf per a transmetre dades amb comunicacions bàsicament intercontinentals. Als anys trenta, independentment de la xarxa telefònica, es creà la xarxa de tèlex per a enviar dades digitals.

A la primera meitat del segle XX sorgeixen els principals models i teories dels sistemes de telecomunicació, entre ells, la representació d'un senyal digitalment (Nyquist 1924), i la teoria de la informació, que ens diu com mesurar la informació que generen les fonts i ens dona els límits fonamentals per a poder-la transmetre fiablement (Shannon 1952).

Al final dels cinquanta es comencen a construir els primers ordinadors basats en vàlvules de buit i després en dispositius d'estat sòlid. El potencial de càlcul i emmagatzematge de la informació que donà l'ordinador s'uní a la tecnologia de les comunicacions, i naixia la telemàtica. Als anys seixanta era usual que les tasques d'un ordinador fossin compartides entre diversos usuaris mitjançant terminals connectats amb enllaços digitals de curtes distàncies amb velocitats de 10 a 30 caràcters per segon. El processador central comandava les tasques pròpies i les comunicacions entre ell i els dispositius d'entrada i sortida.

Amb la construcció del primer microprocessador el 1970 els ordinadors reberen un nou impuls, tant des del punt de vista d'increment del seu propi potencial, com d'introduir-se lentament dins el teixit industrial gràcies a la reducció dels costos. Aquests sistemes crearen la necessitat de construir xarxes aptes per a poder transmetre dades tant en àmbits locals (dins les pròpies oficines o fàbriques) com en àmbits geogràfics metropolitans o nacionals (entre sucursals i oficines principals). Per aquest motiu, la dècada dels setanta es caracteritza per l'aparició de les primeres xarxes públiques de transmissió de dades de cobertura regional o nacional i llur expansió.

Al començament dels anys setanta sorgeixen les primeres aportacions teòriques i pràctiques de com compartir el mitjà de transmissió, recurs escàs, per tant de diversos usuaris. Una de les primeres tècniques d'accés al mitjà que s'implementà fou el projecte Aloha que interconnectà la Universitat de Hawaï emprant comunicació via satèl·lit. El 1969 Farmer proposà una tècnica d'accés determinista amb la topologia d'anell. L'any 1975 Kleinrok i Tobagi plantejaren un mètode d'accés aleatori, el CSMA (Carrier Sense Multiple Access), que donaria lloc a la xarxa local Ethernet.

Al final de la dècada els avenços en el camp de la microelectrònica propiciaren el sorgiment de diferents topologies i diferents mètodes d'accés per a interconnectar els dispositius telemàtics en àrees locals: sorgien les arquitectures propietàries. Entre elles Xerox, Digital i Intel, crearen l'Ethernet. El 1980 els tres membres en publicaren la primera versió.

Per a evitar un creixement anàrquic que impedís la connectivitat entre dispositius, el 1977 l'ISO creà el comitè OSI per a estandaritzar el diàleg entre sistemes proposant un model jeràrquic de set nivells, que té per objectiu harmonitzar el diàleg (protocols) entre dispositius heterogenis. Simultàniament el 1980 l'associació d'Enginers Nord-americans creà els comitès 802. L'any 83 l'IBM proposà la xarxa d'àrea local Token-Ring basada en una topologia amb anell amb pas de testimoni.

Cal remarcar que l'any 1974 IBM proposa una xarxa que en certa manera era d'àrea estesa, anomenada SNA (Systems Network Architecture) que mitjançant dos productes de comunicacions, el NCP (Network Control Program) i el VTAM (Virtual Telecommunication Access Method), interconnectaven els ordinadors amb terminals remots.

Paral·lelament al creixement i la maduresa de les xarxes d'àrea local, el departament de Defensa dels Estats Units (DOD) mitjançant el projecte DARPA

construí una xarxa experimental per a enllaçar els diferents centres militars estesos arreu dels Estats Units. Cadascun d'ells, mitjançant línies punt a punt, podia intercanviar informació amb la resta o utilitzar certs recursos remots. Aquesta experiència fructificà i es creà l'any 1983 la xarxa Arpanet i un conjunt de protocols associats, el TCP/IP. La xarxa ja era capaç d'enllaçar més de deu tipus de protocols i topologies diferents. Els vuitanta, per tant, representaren el naixement i la expansió de les xarxes d'àrea local així com la consolidació de les xarxes públiques de dades d'àmbit nacional o internacional (X-25, Iberpac, etc.).

Al començament dels vuitanta, a mesura que s'anà perfeccionant la tecnologia dels circuits d'alta escala d'integració (VLSI) els sistemes pogueren incrementar les seves funcionalitats. Apareixia el processador de comunicacions encarregat de gestionar la interconnexió i comunicació entre dispositius remots. D'altra banda moltes funcions pogueren ésser construïdes amb dispositius VLSI, gestió dels ports de comunicacions, control d'errades, sincronització, etc. Els sistemes telemàtics eren cada cop més compactes i presentaven prestacions més elevades. S'augmentà el potencial de càlcul, d'emmagatzemament i es necessitava una gran amplada de banda per a comunicar-se, és a dir, velocitat i fiabilitat.

Sorgien les xarxes d'àrea local que tenen com a denominador comú la interconnexió de dispositius (que processen, emmagatzemen i transmeten dades) en un entorn geogràfic reduït. El 1985 L'IEEE definí quatre estàndards que definien el mitjà físic a utilitzar, topologia, mètodes d'accés, velocitat, etc., que es correspon als dos primers nivells de l'ISO. Naixia el Token-Ring, el Token-Bus i l'Ethernet.

Els sistemes que empraven fibres òptiques com a mitjà de comunicació donaren un gran salt. S'aconseguí construir fibres multimode amb baixes pèrdues (0,5 db/km) que juntament amb nous dispositius làsers i leds dissenyaren sistemes per a transmetre dades capaços de cobrir àrees metropolitanes a velocitats de 140 a 565 Mbits/seg. A finals de la dècada aquesta tecnologia rebé un nou impuls amb els dispositius monomode: fibres amb pèrdues de 0,16 dB/km, làsers a 1,3  $\mu$ m, etc., que permeteren de construir xarxes comercials a 1,7 Gbits/seg i experimentals a 20 Gbits/seg. Com a resultat d'aquesta maduresa tecnològica i la forta demanda de nous serveis, es propicià el naixement de les xarxes basades en fibra òptica com a mitjà físic que permeten gran amplada de banda amb baixes taxes d'error capaces de transportar dades, veu i imatges.

En l'entorn de l'àrea local, l'ANSI el 1982 creà un comitè que començà a desenvolupar un estudi de xarxes d'àrea local amb fibra òptica que acabaria en l'estàndard FDDI (Fiber Distributed Data Interface) el 1987. La FDDI té una topologia de doble anell de fibra de cent quilòmetres a una velocitat de cent megabits per segon.

Al nivell urbà les companyies telefòniques potenciaren dos aspectes, el d'utilitzar mitjans de transmissió cada cop més fiables i el de crear xarxes que potenciessin la integració de serveis, veu, dades i imatge en una mateixa xarxa. Una de les propostes fou la presentada per Burroughs, Plessey i National Semiconductors

l'any 84, que consistia en una xarxa metropolitana basada en fibra a 50 Mbits/seg i anell ranurat.

En aquest sentit un dels comitès del IEEE, el 802.6, basant-se en els protocols QPSX experimentats per la companyia Telecom Australia, definí l'estàndard DQDB (Distributed Queue Dual Bus) de Xarxa Metropolitana l'any 1987. La DQDB està constituïda per un doble bus de fibra òptica amb velocitats de 155,5 Mbits/seg, si té connexió amb les jerarquies digitals síncrones, o 3,43/139,2 Mbits/seg.

Cap a la meitat de la dècada passada els serveis que s'oferien per a transmetre dades en un àmbit geogràfic extens eren:

- La xarxa Telex apta per a transmetre dades a baixes velocitats, 50 bits/seg, amb un codi Baudot de 5 bits.
- La xarxa telefònica commutada oferia serveis de:
  - Transmissió de dades via MoDem (Modulador-Demodulador) amb fuxes fins a 9600 bits/seg utilitzant línies de quatre fils (V-29).
  - Telefonia (transport de veu analògica)
  - Facsímil o Telefax digitalització, mitjançant escanejat del full, i transmissió de documents. El 1980 es definí el facsímil de grup III que permet enviar un full DIN A4 en un minut.
  - Teletex, transmissió remota de caràcters d'una màquina d'escriure electrònica, amb correcció d'errors a 2400 bits/seg, via modem.
  - Videotex servei interactiu entre una base de dades remota i l'usuari local, generalment a velocitats de 1200 bits/seg del canal d'anada i 75 bits/seg del canal de tornada. Ja a l'any 1976 el sistema Anglès Prestel transmetia pantalles d'informació de 24 files per 40 columnes amb 64 símbols gràfics.
- La xarxa pública de commutació de paquets que amb velocitats de 1200, 2400, 9,600 i 64.000 bit/seg era apta per a realitzar transmissió de dades entre ordinadors (host/host) o terminal-ordinador.
- Xarxes metropolitanas experimentals basades en fibra òptica amb velocitats al voltant de 100 Mbits/seg. Experiment de Biarritz, Anell de Cambridge, Manhatan, etc., aptes per a transmetre diversos tipus d'informació (veu, dades i imatge) i serveis.

| TIPUS DE SERVEI        | SERVEI              | VELOCITAT |      |
|------------------------|---------------------|-----------|------|
| COMMUTACIÓ<br>CIRCUITS | Telefonia           | < 38      | Kbps |
|                        | RDSI                | < 2.048   | Mbps |
| PAQUETS                | X-25                | < 64      | Kbps |
|                        | RDSI                | < 64      | Kbps |
| PERMANENTS             | Analògiques         | < 38      | Kbps |
|                        | Jerarquies Digitals | < 64      | Kbps |
|                        | síncrones           | < 2.048   | Mbps |
|                        |                     | < 34      | Mbps |

Fig. 1. Serveis oferts per la xarxa pública.

Al nivell de xarxes d'àrea local:

– Els diferents comitès 802 aprovaren diversos estàndars, Ethernet (802.3), Token-bus (802.4), Token-Ring (802.5), amb diferents topologies bus, anell, bus, i diferents mètodes d'accès, aleatori o determinista. Algunes cases comercials, basant-se o no en aquests estàndars, construïren arquitectures propietàries que oferien serveis de sessions remotes contra ordinadors, transferència de fitxers o correu electrònic. Les velocitats oscil·laven entre 0,1 i 10 Mbits/seg.

VELOCITAT BITS/SEG

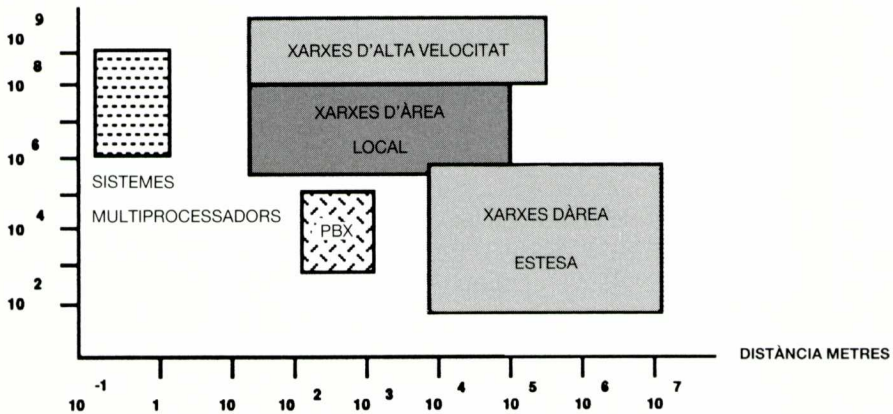


Fig. 2. Comparació dels diferents sistemes telemàtics en funció de la cobertura geogràfica i la velocitat.

### 3. CAP A LA INTEGRACIÓ DE SERVEIS

Durant la primera meitat de la dècada passada cada servei telemàtic tenia associada una xarxa, amb un mitjà de transmissió donat, diferent amplada de banda, diferent mètode d'accés al mitjà, etc., que comportava que cada usuari tingués una infraestructura diferent per cada tipus de servei.

Atès que la tecnologia digital estava prou desenvolupada, i per a optimitzar costos al nivell de l'usuari, es plantejà la creació de la Xarxa Digital de Serveis Integrats que es caracteritza per:

– L'usuari a partir d'un *interfci normalitzat* (connector ISO de 8 pins) té accés a tot tipus de serveis que ofereix la xarxa pública, basats en commutació de circuits i commutació de paquets.

– Utilitzar la infraestructura existent de la xarxa d'accés (bucle d'abonat).

– *Digitalitzar el sistema extrem a extrem*, que comporta una digitalització de la xarxa d'accés, de transport, de transmissió i commutació.

– La introducció de nous serveis com telefonia digital, videotelèfon, transmissió de documents amb escala de grisos i color (facsimil grup IV), interconnexió de terminals de dades, etc.



Fig. 3. Elements de que es compon un sistema de transmissió de dades.

- Definir dos tipus d'accés, el *bàsic* a velocitats de 144 Kbits/seg. full dúplex, i el *primari* a 2048 Kbits/seg full dúplex.
- Utilitzar adaptadors de terminal per als dispositius ja existents que no tenen una estandardització XDSI, com els terminals X-25, dispositius asíncrons amb interfece RS-232, etc.

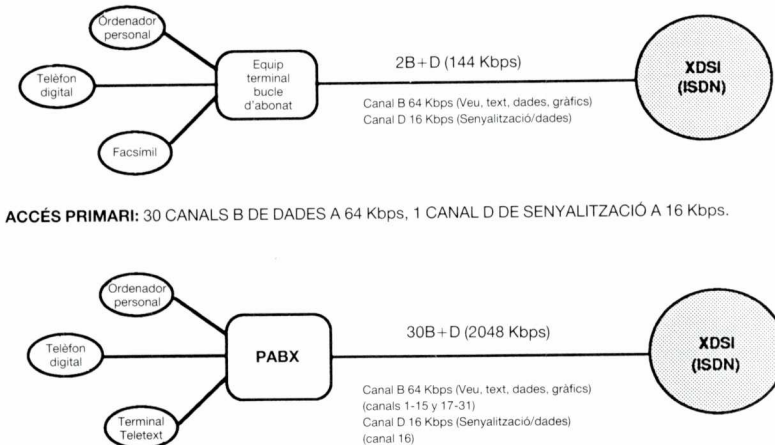


Fig. 4. Accés a la xarxa digital de serveis integrats: bàsic i primari.

- Connectar fins a vuit terminals XDSI en el bus d'usuari anomenat S.
- Per primer cop es crea una xarxa paral·lela de senyalització (nº 7) que governa l'establiment de la trucada, la transmissió d'informació i l'alliberament. La senyalització se separa de la transmissió de dades.

#### 4. COMMUTACIÓ RÀPIDA DE PAQUETS.

Al principi de la dècada dels noranta aparegué la necessitat d'augmentar la velocitat de la xarxa pública de dades (X-25) que solament suportava velocitats fins a 64 Kbits/seg. Aquest augment estava justificat per la demanda

creixent d'amplada de banda, motivada per la introducció de nous serveis, interconnexió de xarxes d'àrea local, etc. Els protocols X-25 foren pensats per a xarxes que empraven mitjans físics sorollosos, xarxes on la detecció d'errors es realitza a cada nus per on es transporta la informació. És usual en X-25 haver de fer de l'ordre de vint operacions de correcció d'errors control de flux, etc. fins a donar una trama correcta al nivell superior.

A mesura que s'introdueix la fibra òptica com a mitjà físic la immutabilitat a les interferències externes i el soroll disminueixen, i ho féu també la taxa d'error; per aquest motiu es pensà a traslladar el control d'errors extrem a extrem de la comunicació. Els nusos intermedis que intervenen en la transmissió tenen per missió retransmetre la informació cap al destí adquat en la mesura que el mitjà estigui lliure i hagi rebut la capçalera de la trama per a conèixer la adreça de destinatari.

Aquest mètode continu, a mesura que es rep la informació aquesta es retransmet, dóna lloc al concepte de commutació ràpida de paquets. En funció de si la unitat d'informació, la trama, té longitud fixa o no estem parlant de la tècnica Cell Relay o Frame Relay.

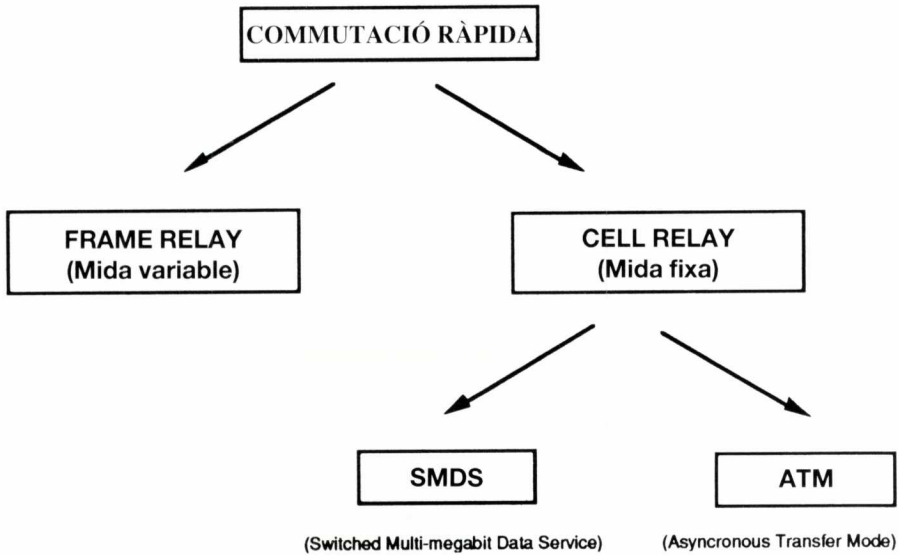
La Tecnologia Frame Relay fou proposada pel CCITT l'any 1988 i ampliada per l'ANSI el 1990. Aquest mètode permet enviar tant tràfic asíncron com isòcron fins a velocitats de 2 Mbits/seg. Frame Relay solament involucra al nivell físic i d'enllaç d'ISO i es basa en una modificació del protocol LAB D utilitzat en XDSI. El control d'errors es realitza extrem-extrem, rebaixant el temps de procés i emmagatzemament de cada nus intermedi. Malgrat tot si un nus detecta un error aborta la transmissió de la trama i aquesta es retransmet de nou.

Íntimament lligat a la xarxa de commutació ràpida de paquets es planteja l'existència d'una xarxa de transport que permeti una transmissió ràpida i fiable. Per aquesta raó aparegué l'estandardització de la xarxa de transport digital síncrona basada en fibra òptica: SDH (Jerarquies digitals síncrones), proposada pel CCITT, i SONET, proposada pels organismes americans.

Finalment la dècada dels noranta es caracteritza pel disseny i la posada en marxa de la xarxa digital de serveis integrats de banda ampla. Aquesta xarxa digital té com a objectiu el poder suportar qualsevol servei existent present o futur bast en la transmissió de veu, dades i imatge, com videoconferència, TV d'alta definició, videotex de banda ampla, etc., així com la gran diversitat de tràfic generat per les diferents fonts d'informació.

La XDSI de banda ampla utilitza fibra òptica com a mitjà de transmissió i defineix velocitats de 155 Mbits/seg en l'interfície d'usuari. La informació es transportada en cel·les de mida fixa de 53 bytes dels quals 5 porten informació de la capçalera. Aquests cel·les es transmeten per un circuit virtual i el seu enrutament fins a trobar el destí està inclòs dins la informació de la capçalera. Aquestes cel·les poden viatjar per la xarxa englobades dins una estructura síncrona SONET o formant part de canals no síncrons (Asynchronous Time Division).





| X-25  | FRAME RELAY | SMDS  | B-ISDN |
|-------|-------------|-------|--------|
| 64 Kb | 2 Mb        | 44 Mb | 155 Mb |

Fig. 5. Mostra la tecnologia de commutació ràpida de paquets, la seva nomenclatura i les seves velocitats.

Aquest mode de transferència asíncron s'anomena ATM (Asynchronous Transfer Mode), ja que l'amplada de banda que utilitza l'usuari està sota demanda i no preestablerta, és a dir, no es consumeixen recursos si no es transmet informació. ATM és quelcom més que una xarxa de transport ja que interacciona amb l'usuari i distribueix recursos.

Els serveis que ofereix aquesta xarxa es poden classificar en quatre tipus, orientats i no orientats a connexió, i de velocitat constant o variable. Aquests serveis garanteixen una transparència semàntica de la informació, és a dir, una transmissió lliure d'errors mitjançant mecanismes de detecció d'errors extrem-extern, i una transparència temporal que garanteix retards mínims dins la xarxa. Aquestes facilitats fan que ATM sigui apte per a transmetre tot tipus d'informació d'àudio i vídeo en temps real.

Com a resum final podem dir que en un futur immediat l'usuari disposarà d'una única xarxa digital de banda ampla que integrarà tot tipus de serveis i tràfics.

## BIBLIOGRAFIA

1. G.C. KESSLER, D.A. TRAIN. Metropolitan Area Networks, Concepts, Standards and Services. McGraw-Hill. 1991.
2. D. COMER. Internetworking with TCP/IP. Prentice-Hall. 1988
3. R. HÄNDEL, M.N. HUBER. Integrated Broadband Networks. Addison-Wesley. 1991.
4. H. J. HELGERT. Integrated Services Digital Networks. Addison-Wesley. 1991.
5. K. R. McCONNELL, D. BODSON, R. SCHAPHORTS, FAX. Digital Facsimile Technology & Applications. Artech House 1989.
6. J.A.C. BINGHAM. The Theory and Practice of Modem Design. Wiley Interscience 1988.
7. A.S. TANENBAUM. Computer Networks. McMillan. 1989.
8. M.S. Telecommunications Networks. Addison-Wesley. 1987.
9. LEE MESSERSCHMITT. Digital Communication. Kluwer. 1988.
10. M. DE PRYCKER. Asynchronous Transfer Mode. Ellis Horwood. 1991.