

Xarxes de computadors

Xavier Vilajosana Guillén
Miquel Font Rosselló
Eduard Lara Ochoa
René Serral i Gracià

PID_00171174



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu

Índex

Introducció	5
1. Concepte de xarxa	7
1.1. Maquinari de xarxa	7
1.1.1. Topologies de xarxa	7
1.1.2. Tipus de commutació	9
1.1.3. Abast de les xarxes	13
1.1.4. Tecnologies de xarxa	14
1.2. Programari de xarxa	16
1.2.1. Arquitectura de la xarxa: disseny per capes	17
1.2.2. Consideracions de disseny	21
1.3. Jerarquia de protocols i encapsalament	22
1.4. Interfícies i serveis	23
1.4.1. Tipus de connexió de serveis	27
2. Models de referència	29
2.1. Antecedents	29
2.1.1. SNA d'IBM	29
2.1.2. DNA de DEC (DECnet)	29
2.1.3. XNS de Xerox	30
2.1.4. NetWare de Novell	31
2.1.5. AppleTalk de Macintosh	32
2.1.6. NETBEUI de Microsoft	32
2.1.7. TCP/IP del món militar	33
2.2. Necessitat d'estandardització	33
2.3. Organismes d'estandardització	35
2.4. El model de referència OSI	35
2.4.1. Procés d'encapsulació i desencapsulació	37
2.4.2. La capa física	39
2.4.3. La capa d'enllaç	39
2.4.4. La capa de xarxa	41
2.4.5. La capa de transport	42
2.4.6. La capa de sessió	43
2.4.7. La capa de presentació	44
2.4.8. La capa d'aplicació	44
2.5. Model TCP/IP	45
2.5.1. Encapsulació de la informació en la torre TCP/IP	46
2.5.2. La capa d'interfície de xarxa	47
2.5.3. La capa de xarxa (Internet)	47
2.5.4. La capa de transport	49
2.5.5. La capa d'aplicació	49

2.6. El model OSI comparat amb el model TCP/IP	50
3. Breu història de les comunicacions.....	52
Resum.....	64
Bibliografia.....	65

Introducció

Les xarxes d'ordinadors actuals són una composició de dispositius, tècniques i sistemes de comunicació que han anat apareixent des del final del segle XIX amb la invenció del telèfon. El telèfon es va desenvolupar exclusivament per a transmetre veu, tot i que encara avui s'utilitza, en molts casos, per a connectar ordinadors entre si. De llavors ençà han aparegut les xarxes locals, les connexions de dades a llarga distància amb enllaços transoceànics o satèl·lits, Internet, la telefonia mòbil, etc.

Dedicarem aquest mòdul a introduir les idees i els conceptes bàsics de les xarxes d'ordinadors que tractarem en profunditat a partir d'ara. Primer de tot, els conceptes fonamentals d'una xarxa seran introduïts: les topologies de xarxa i els conceptes de commutació, el maquinari i el programari. És important tenir una visió general de la tipologia de xarxa, normalment classificada pel seu abast. Seguidament, el mòdul introdueix les diferents tecnologies de xarxa més rellevants actualment; Ethernet o 802.3 és la més usada en xarxes d'àrea local cablades. Les tecnologies de xarxes sense fils s'han estandarditzat en la darrera dècada i tenen el seu principal exponent en el 802.11 o Wi-Fi, que és usat també per la majoria de dispositius d'usuari en xarxa.

El mòdul aprofundeix en la definició d'una xarxa de computadors i ens presenta el model de referència d'una xarxa, constituïda per diferents nivells que permeten abstraure les complexitats derivades de la transmissió de la informació. Com veurem, cada nivell de la xarxa ofereix serveis al seu nivell predecessor mentre que usa els serveis del seu nivell antecessor. Quan es vol transmetre una informació, aquesta és transmesa entre els diferents nivells de la xarxa tot encapsulant la informació dels nivells predecessors i afegint nova informació que permet en el receptor recuperar la informació original.

Veurem que en un principi es va definir una jerarquia anomenada *OSI* amb 7 nivells, i que aquesta va evolucionar envers el model de xarxa actual, el model TCP/IP que regeix avui dia el funcionament d'Internet. Finalment el mòdul fa una breu repassada de la història de les comunicacions. Conèixer la història ens permet tenir una bona perspectiva d'aquestes tecnologies i entendre per què s'han creat, com han evolucionat i per què tenim el model de comunicació actual.

1. Concepte de xarxa

Durant les dues primeres dècades d'existència dels computadors, aquests eren sistemes de maquinari fortament centralitzats normalment ubicats en un únic espai físic. Les empreses i centres que posseïen un computador feien que servis totes les necessitats computacionals de la institució. A mesura que les capacitats dels computadors creixien, la centralització va esdevenir un problema tant de gestió com de recursos.

El model centralitzat es va anar substituint per un model en què múltiples computadors amb menys capacitat però interconnectats entre ells eren capaços de fer les tasques d'un computador centralitzat. Aquesta nova organització es va anomenar **xarxa de computadors**.

El disseny i arquitectura de la xarxa són els aspectes que tractarem durant aquest curs.

1.1. Maquinari de xarxa

Les xarxes de computadors es poden classificar de diferents maneres, i generalment aquestes classificacions es fan basant-se en la topologia, el tipus de commutació, l'abast i la tecnologia de la xarxa, entre d'altres. Aquesta secció detalla aquestes diferents classificacions i dóna la base necessària per a poder entendre posteriorment el disseny de protocols existents actualment.

1.1.1. Topologies de xarxa

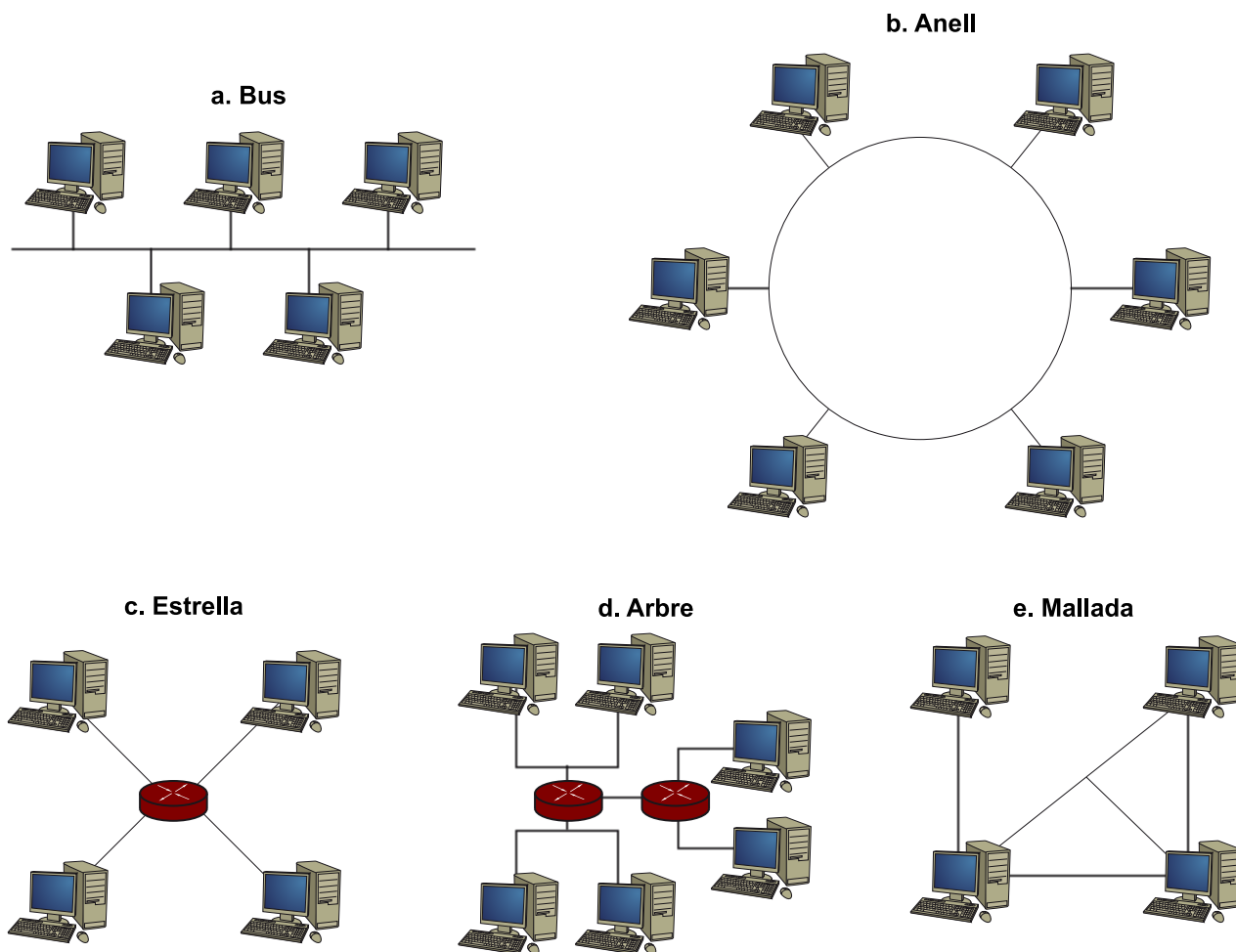
Una topologia de xarxa és la manera com estan distribuïts els nodes que la formen. Les xarxes actuals estan formades per tres tipus d'entitats: els equips finals¹, els equips intermedis (encaminadors² o commutadors) i els enllaços³ que uneixen els equips finals i els encaminadors entre si.

⁽¹⁾En anglès, *hosts*.

⁽²⁾En anglès, *routers*.

⁽³⁾En anglès, *links*.

Figura 1. Exemples típics de topologies de xarxa



Les topologies més conegudes són:

1) **Bus.** Tots els equips estan connectats a un únic medi de transmissió compartit entre totes les estacions de la xarxa; per tant, és necessari establir un sistema d'accés al medi per tal d'evitar que més d'una estació transmeti al mateix instant de temps i es produeixin col·lisions. Un exemple d'una topologia en bus es pot veure a la figura 1a.

2) **Anell.** Com mostra la figura 1b, una topologia en anell està formada per un enllaç que forma un bucle, de manera que cada estació està connectada a l'anell per mitjà de dos enllaços, el d'entrada i el de sortida. Generalment quan l'estació emissora rep el seu propi paquet l'elimina de la xarxa.

3) **Estrella.** Aquesta topologia (figura 1c) està formada per un node central, que actua com a node intermedi de la xarxa (commutador o encaminador) i és qui gestiona l'enviament i recepció de les dades, i tota la resta d'estacions es connecten a aquest node principal.

4) **Arbre.** Una topologia en arbre es considera una topologia mixta de les topologies en bus i en estrella, i de vegades també es coneix com a topologia jeràrquica. Un exemple es pot veure a la figura 1d, en què diversos nodes intermedis es connecten entre ells, i a la vegada tenen connectats equips finals. Aquesta topologia és la més utilitzada actualment.

5) **Mallada.** La topologia mallada és aquella en què tots els equips estan connectats contra tota la resta. Hi ha casos de xarxes mallades no totals, en què les estacions no formen una malla completa. Generalment aquesta topologia és la utilitzada al nucli de les grans xarxes com Internet, on es connecten només equips intermedis, i no equips finals.

1.1.2. Tipus de commutació

En l'entorn de les xarxes, *commutació* fa referència a l'establiment d'un circuit (real o lògic) entre dos punts de la xarxa que en permet la interconnexió, i per tant el traspàs d'informació entre els punts. Essencialment aquesta commutació es pot dividir en dues classes diferents: la commutació de circuits i la commutació de paquets.

Commutació de circuits

La commutació de circuits es basa a establir un circuit físic entre els dos interlocutors de la xarxa. Aquest circuit físic s'estableix abans de poder transmetre cap tipus d'informació i està conformat per diferents enllaços entre els nodes.

En commutació de circuits es distingeixen tres fases per a l'enviament d'informació:

1) **Establiment del circuit.** Aquesta fase s'encarrega de buscar un camí entre els nodes intermedis que portin cap a la destinació; així l'estació origen demana la creació del circuit al node al qual està connectada, que envia la petició al node següent. Aquest altre node farà el mateix cap al següent, i així fins a arribar a la destinació final. A mesura que es va formant el circuit cada node intermedi verifica que hi hagi prou recursos per a establir-lo, i en el cas que no sigui així s'avorta la petició de circuit. Contràriament, en el cas que l'establiment sigui viable, un cop arribat a la destinació aquest enviarà un senyal a l'origen per a fer-li saber que ja pot enviar informació.

2) **Transferència de dades.** Ara les estacions ja poden intercanviar la informació desitjada.

3) **Desconnexió.** Un cop s'ha acabat la comunicació és obligatori alliberar recursos, per tal que estiguin disponibles més endavant per a altres connexions.

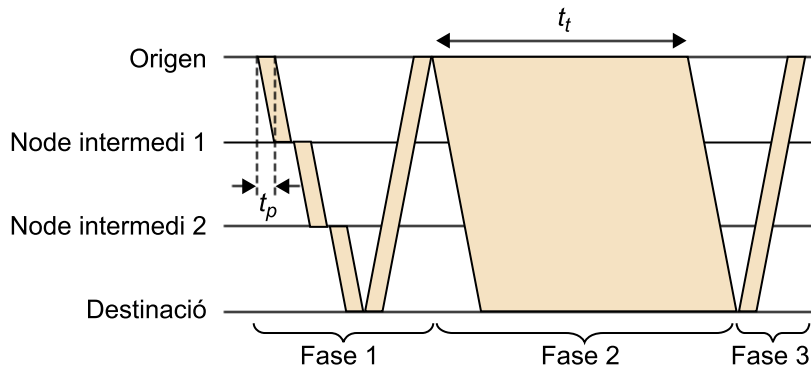
XTB

L'exemple més clàssic de la commutació de circuits és l'antiga xarxa telefònica bàsica (XTB), en què a través de les centraletes situades de manera jeràrquica a través de tota la xarxa, anaven multiplexant els circuits de veu i dirigint-los cap al seu destinatari. Avui dia, amb l'era digital, aquest establiment del circuit es produeix només des del telèfon de l'usuari cap a la centraleta més pròxima, on es digitalitza la veu i s'utilitzen altres tècniques per a enviar la informació, com per exemple la commutació de paquets.

Exemple de creació de circuits

Un exemple de creació de circuits és el que es mostra en el diagrama de temps a la figura 2. La figura mostra les tres fases en el cas que hi hagi dos nodes intermedis. El diagrama de temps s'ha d'interpretar d'esquerra a dreta amb l'evolució temporal, en què cada bloc representa l'enviament d'informació cap al node següent.

Figura 2. Diagrama de temps de l'establiment d'un circuit



Com es pot veure a la figura, les línies tenen una certa inclinació, cosa que indica el temps de propagació del senyal, mentre que el gruix de cada bloc indica el temps de transmissió necessari per a enviar-lo. Inicialment a l'establiment del circuit cada equip intermedi ha de processar el senyal i enviar-lo al node següent; per això abans d'enviar-lo s'ha d'esperar a tenir tota la informació del circuit. Un cop establert ja pot funcionar d'extrem a extrem de manera transparent i sense més retards addicionals dels nodes intermedis.

Commutació de paquets

Un dels principals problemes que trobem amb la commutació de circuits és l'exclusivitat dels recursos, ja que quan hi ha un circuit creat, encara que no hi hagi dades passant pel circuit, els recursos estan reservats i no poden ser utilitzats per cap altra estació. El problema es veu agreujat, ja que en connexions de dades com les que hi ha avui dia, el trànsit, en comptes de ser constant, arriba en ràfegues; per exemple, quan l'usuari carrega una pàgina web, la càrrega només representa uns pocs centenars de mil·lisegons, mentre que llegir-la pot comportar uns quants minuts. Un altre problema imposat per la commutació de circuits és la necessitat que tots els nodes de la comunicació treballin a la mateixa velocitat, ja que els nodes intermedis no fan cap processament de la informació, cosa que en una xarxa actual no és cert: cada usuari té una velocitat diferent, que a la vegada és diferent de la que tenen els operadors.

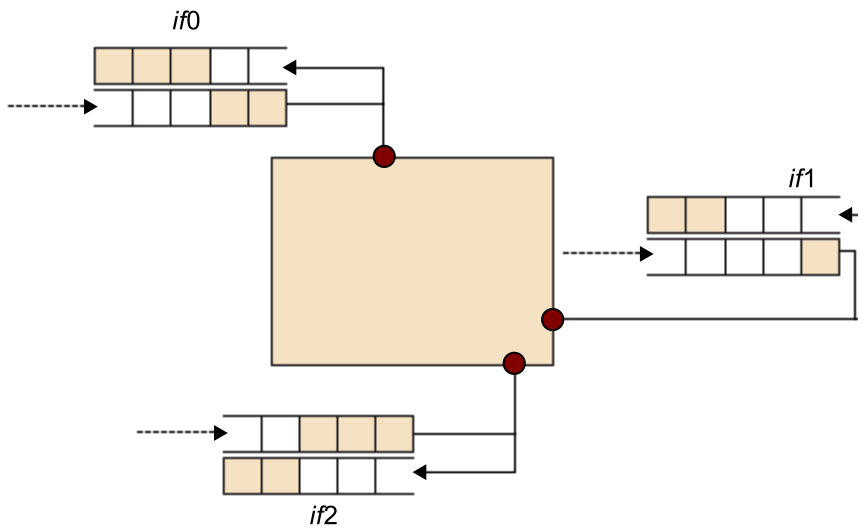
Així, per tal de millorar la commutació de circuits en aquestes noves necessitats es va dissenyar la commutació de paquets amb els objectius següents:

- Optimitzar la utilització que es fa dels canals de comunicació.
- Interconnectar terminals amb diferents velocitats.
- Crear connexions de manera simultània sense reserva de recursos.

Així, la commutació de paquets, en comptes de reservar recursos amb un circuit, dota als nodes intermedis de capacitat de procés i d'un sistema de cues, que permet emmagatzemar temporalment un paquet, mirar quin és el seu destinatari i enviar-lo cap al node que correspongui.

Com s'ha comentat, la commutació de paquets ha de permetre diferents velocitats de transmissió, i per això s'utilitzen les cues de recepció i les cues de transmissió, tal com mostra la figura 3. Com es pot comprovar a la figura, un node de commutació està compost per interfícies, i aquestes interfícies estan compostes, entre d'altres coses, per una cua d'entrada i una altra cua de sortida al sistema, i s'utilitzen per tal de controlar l'accés al node de commutació, que ara, en comptes de ser passiu, processarà tots els paquets que arriben per les cues d'entrada i els col·locarà a la cua de sortida de la interfície corresponent per a ser enviats.

Figura 3. Cues en la commutació de paquets



Les cues del node de commutació tindran una mida determinada, fet que implica que si una cua s'omple abans de ser processada, hi haurà paquets que han de ser descartats.

Una altra consideració important en aquest entorn és la mida del paquet per transmetre; inicialment els paquets es va pensar de fer-los tan grans com el missatge per enviar (commutació de missatges), però de seguida es va veure que per a missatges grans els nodes intermedis necessitaven massa memòria (ja que emmagatzemen el paquet en la seva totalitat abans d'enviar-lo), i massa temps per a processar-lo. Així, actualment el que es fa és dividir els missatges en una mida màxima fixada (generalment 1.500 octets⁴).

Commutació de missatges i de paquets

Un exemple d'això es pot trobar a la figura 4, on les dues subfigures mostren l'enviament del mateix missatge, primer amb commutació de missatges i després amb commutació de paquets. Com es pot veure en aquest exemple, el missatge ha estat enviat amb tres

Vegeu també

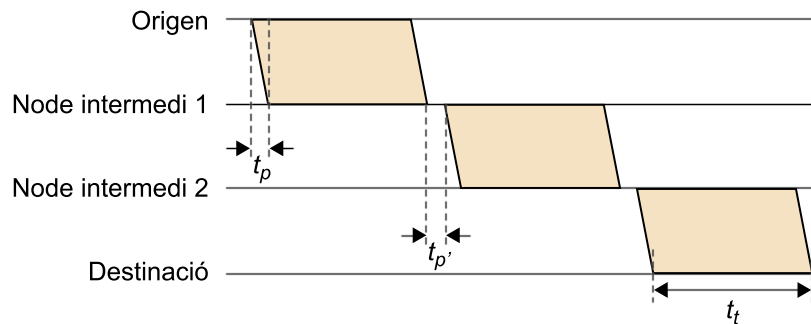
Vegeu com la xarxa gestiona i evita la pèrdua de paquets descartats en l'apartat 3 d'aquest mòdul didàctic.

⁽⁴⁾En anglès, *bytes*.

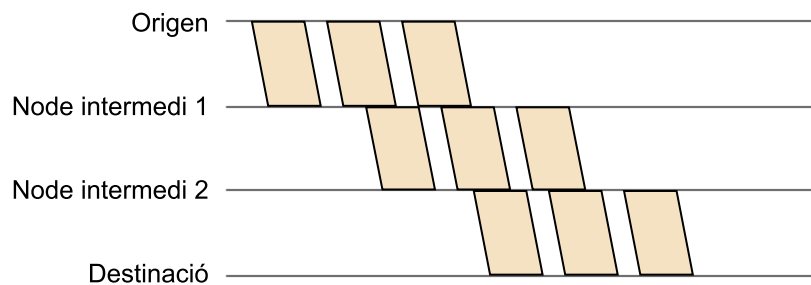
paquets diferents de mida inferior. A causa de l'emmagatzemament als nodes intermedis (*store and forward*) la commutació de paquets és generalment més ràpida.

Figura 4. Funcionament de la commutació de paquets i de missatges

a. Commutació de missatges



b. Commutació de paquets



t_p : Temps de propagació $t_{p'}$: Temps de procés t_t : Temps de transmissió

Commutació de paquets amb circuit virtual

Tot i que la commutació de paquets és millor que la commutació de missatges, totes dues solucions tenen el problema que depenent de la mida i l'estat de les cues dels nodes intermedis el retard en l'arribada de la informació és variable, i això implica que en comunicacions crítiques en temps (com una conversa de veu) pot arribar a ser un problema; per exemple, si un paquet de veu arriba massa tard, no podrà ser descodificat i l'altre interlocutor notarà un petit tall a la conversa. Per minimitzar aquest problema va aparèixer el que es coneix com la commutació de paquets amb circuit virtual, que té per objectiu agafar els avantatges de tots dos paradigmes. Així, en comptes d'enviar de manera independent tots els paquets d'una connexió, els circuits virtuals el que fan és decidir el camí prèviament (com amb la commutació de circuits) però mantenint l'enviament de paquets individuals, de manera que ara tots els paquets seguiran el mateix camí, i per això podem tenir una reserva de recursos.

1.1.3. Abast de les xarxes

Una classificació força clàssica que es fa de les xarxes és depenent del seu abast, tot i que depenent de l'entorn aquesta classificació pot canviar; generalment es consideren dues categories: les xarxes de gran abast (WAN⁵) i les xarxes d'abast local (LAN⁶).

⁽⁵⁾WAN és la sigla de *wide area networks*.

⁽⁶⁾LAN és la sigla de *local area networks*.

Abans de detallar què són les LAN i les WAN és convenient introduir primer els conceptes de xarxes de difusió i xarxes punt a punt. Una xarxa de difusió⁷ és aquella en què el medi és compartit entre totes les estacions que formen la xarxa, i així tots els equips reben tots els paquets però només processen els dirigits cap a ells. Entre d'altres coses això comporta seriosos problemes de privacitat, i per això en aquest tipus de xarxes és recomanable utilitzar mecanismes de xifratge en les connexions, com per exemple en les xarxes sense fils.

Altres xarxes segons el seu abast

Hi ha altres categories com les xarxes metropolitanes (MAN, *metropolitan area networks*) o les xarxes personals (PAN, *personal area networks*), però normalment poden ser incloses dins de les xarxes LAN.

Les xarxes punt a punt, en contraposició de les xarxes de difusió, són aquelles en les quals les connexions són dedicades entre dos punts determinats de la xarxa. Tot i que un enllaç punt a punt pot semblar poc flexible, en la realitat és el tipus de connexió més utilitzada actualment, ja que es pot estendre per a formar topologies en estrella, en arbre o mallades de manera molt senzilla. Els enllaços punt a punt, depenent del sentit de la comunicació que permeten, poden ser:

⁽⁷⁾En anglès, *broadcast*.

- **Símplex**: la comunicació és unidireccional, dels dos punts un sempre és l'origen i l'altre és la destinació.
- **Semidúplex**⁸: la comunicació pot ser bidireccional, però sempre que els dos punts de la comunicació alternin la generació de trànsit, ja que si enviessin al mateix temps es provocaria una col·lisió que invalidaria totes dues transmissions.
- **Dúplex**⁹: el cas més comú actualment, és quan el medi està preparat per a poder enviar i rebre informació de manera simultània sense cap problema.

⁽⁸⁾En anglès, *half-duplex*.

⁽⁹⁾En anglès, *full-duplex*.

Cal notar que en les comunicacions bidireccionals la velocitat pot ser igual (connexió simètrica) o diferent, depenent del sentit de la comunicació (connexió asimètrica).

Xarxes de gran abast

Les xarxes de gran abast es consideren aquelles que s'utilitzen en espais geogràfics extensos. Generalment les WAN s'encarreguen de la interconnexió de LAN, i faciliten així la connexió dels usuaris de diferents localitzacions.

La transmissió de les dades s'acostuma a fer mitjançant grans operadors de comunicacions amb línies de comunicació contractades¹⁰, utilitzant infraestructures que es consideren públiques (per a evitar monopolis). Les connexions WAN són pràcticament sempre punt a punt, exceptuant els enllaços via satèl·lit, que pel fet d'utilitzar l'aire com a medi de transmissió són inherentment medis de difusió. Per la seva gran extensió, les xarxes WAN en general estan compostes per topologies en arbre, que estan connectades a topologies mallades, formades per milers de nodes.

⁽¹⁰⁾En anglès, *leased lines*.

Xarxes d'àrea local

Al revés que les WAN, les LAN estan dissenyades per a tenir un abast més reduït, que pot oscil·lar entre els pocs quilòmetres i alguns metres (fins i tot centímetres).

Les tecnologies LAN estan pensades per a connectar usuaris amb pocs equips, edificis empresarials o bé fins i tot campus sencers. Normalment aquestes LAN s'acaben connectant a WAN; actualment aquesta interconnexió massiva de LAN i WAN a escala global es coneix com a *Internet*.

Clàssicament les LAN han utilitzat un medi de difusió per a enviar la informació, però des de l'aparició de commutadors i altres equipaments més actuals, han passat, mitjançant topologies en arbre i estrella, a ser un conjunt de connexions punt a punt. L'excepció a aquesta regla tornen a ser les xarxes que utilitzen l'aire com a medi de transmissió, les xarxes sense fils, que utilitzen difusió per a enviar la informació. Cal notar que de xarxes sense fils n'hi ha de molts tipus, i no totes poden ser classificades com a LAN, com per exemple les xarxes de telefonia mòbil.

1.1.4. Tecnologies de xarxa

La darrera classificació del maquinari de xarxa fa referència a les diferents tecnologies existents per a fer una xarxa; la llista de tecnologies de xarxa existents actualment és massa extensa per a poder-la enumerar, i aquí s'introdueixen les tecnologies més importants avui dia; la llista comprèn les tecnologies cablades i les tecnologies sense fils.

Tecnologies de xarxa cablada

Dins de les xarxes cablades la família de tecnologies per excel·lència és Ethernet (definit en l'estàndard IEEE 802.3), que va començar com una tecnologia a 10 Mbps amb una topologia amb bus i medi compartit, i que ha anat evolucionant a una topologia en estrella a 1 Gbps (Gigabit Ethernet) passant per Fast Ethernet, encara molt utilitzada actualment, a 100 Mbps.

Cal dir que també hi ha models de 10 Gigabit Ethernet, però la implantació encara està en els inicis. Ethernet, tot i començar essent una tecnologia limitada a LAN, pel seu baix cost i la seva gran adopció va evolucionar fins al punt que actualment hi ha enllaços WAN construïts amb aquesta tecnologia.

Les topologies basades en anell, com l'anell de testimoni (IEEE 802.5) i FDDI (definit en l'estàndard ANSI X3T12) han anat caient en desús comparades amb Ethernet, principalment a causa del seu cost més alt i el rendiment pitjor. Actualment una topologia en anell molt utilitzada és Resilient Packet Ring (IEEE 802.17), una tecnologia per a transportar altres tecnologies a través d'anells amb fibra òptica; normalment s'hi transporta directament trànsit Ethernet i serveis IP.

Tecnologies de xarxa sense fils

Un punt en què hi ha hagut una gran expansió en els darrers anys és l'aparició de tecnologies de xarxa sense fils. D'aquest tipus de xarxes se'n poden extreure principalment dos tipus: les xarxes de telefonia mòbil i les xarxes sense fils de més curt abast.

De xarxes de telefonia mòbil n'hi ha de molts tipus; es pot destacar la GSM¹¹, que va ser dels primers sistemes que van aparèixer, i permetia un enviament de dades de 9,6 kbps, per a evolucionar al més actual GPRS¹², amb una amplada de banda màxima teòrica de 171,2 kbps, però efectivament el canal de baixada és de 64 kbps i el de pujada de 14 kbps. La darrera implementació en tecnologies de xarxa mòbils és UMTS¹³, també conegut com el sistema de tercera generació (3G), que amb uns sistemes més avançats és capaç d'arribar a velocitats teòriques de 21 Mbps, però amb velocitats efectives de 7,2 Mbps de baixada amb 384 kbps de pujada.

⁽¹¹⁾ GSM és la sigla de *global system for mobile communications*.

⁽¹²⁾ GPRS és la sigla de *general packet radio service*.

⁽¹³⁾ UMTS és la sigla de *universal mobile telecommunication services*.

Pel que fa a les xarxes sense fils de més curt abast, la tecnologia usada per excel·lència és la LAN sense fils¹⁴ (Wi-Fi, IEEE 802.11), que inicialment va ser definida amb una velocitat d'11 Mbps; en revisions posteriors de l'estàndard es va fer el disseny per a suportar velocitats de 54 Mbps, amb un abast aproximat de 100 m. En els darrers anys, per tal de reduir el consum energètic de les

⁽¹⁴⁾ En anglès, *wireless LAN (Wi-Fi)*.

comunicacions sense fils en equips de baixa potència, ha aparegut l'estàndard *de facto* per a la comunicació d'equips petits (mòbils, PDA...) que és Bluetooth, amb una velocitat d'1 Mbps i amb un abast aproximat de 10 m, però amb un consum energètic molt baix, que el fa molt atractiu per a transferències de dades curtes.

Finalment, una tecnologia que es queda entremig del curt i llarg abast és WiMAX (IEEE 802.16), que és una tecnologia sense fils molt utilitzada actualment per a donar connectivitat a zones aïllades i de difícil accés, on la comunicació cablada és molt cara. WiMAX té una velocitat màxima aproximada de 150 Mbps de baixada i 35 Mbps de pujada, amb un abast d'uns 70 km.

1.2. Programari de xarxa

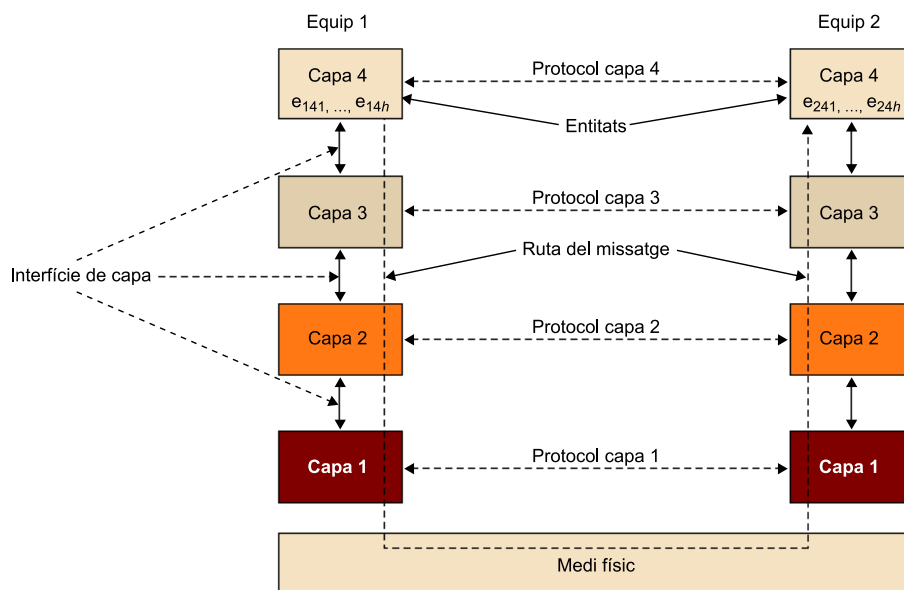
Inicialment, quan van aparèixer les xarxes de computadors, els fabricants feien el disseny pensant que tot el procés de xarxa es faria mitjançant maquinari, i a més a més assumien que els protocols i els mecanismes per utilitzar serien de propietat, sense un sistema estàndard, ni un consentiment conjunt entre els fabricants per a interactuar.

De totes maneres, a mesura que van anar evolucionant les xarxes, es va veure que si no es plantejava algun tipus d'estandardització, una via comuna per a interconnectar tecnologies i utilitzar mecanismes regulats, els esforços de cada fabricant serien massa grans i la lluita no beneficiaria ningú. Va ser llavors quan fabricants com IBM van començar a veure que era més viable passar una bona part de la càrrega de la xarxa al programari, molt més flexible i barat de produir que no el maquinari. Per això va aparèixer el que es coneix com les arquitectures de xarxa organitzades per capes, en què els exemples més importants són OSI¹⁵ i TCP/IP¹⁶.

⁽¹⁵⁾ OSI és la sigla d'*open systems interconnection*. En català, *interconnexió de sistemes oberts*.

⁽¹⁶⁾ TCP/IP és la sigla de *transmission control protocol / Internet protocol*.

Figura 5. Exemple d'arquitectura de xarxa amb quatre capes



1.2.1. Arquitectura de la xarxa: disseny per capes

Històricament les primeres xarxes es van designar bàsicament només tenint en compte el maquinari de les comunicacions. Aquesta estratègia no va tenir gaire futur. Actualment el programari de xarxa està molt estructurat.

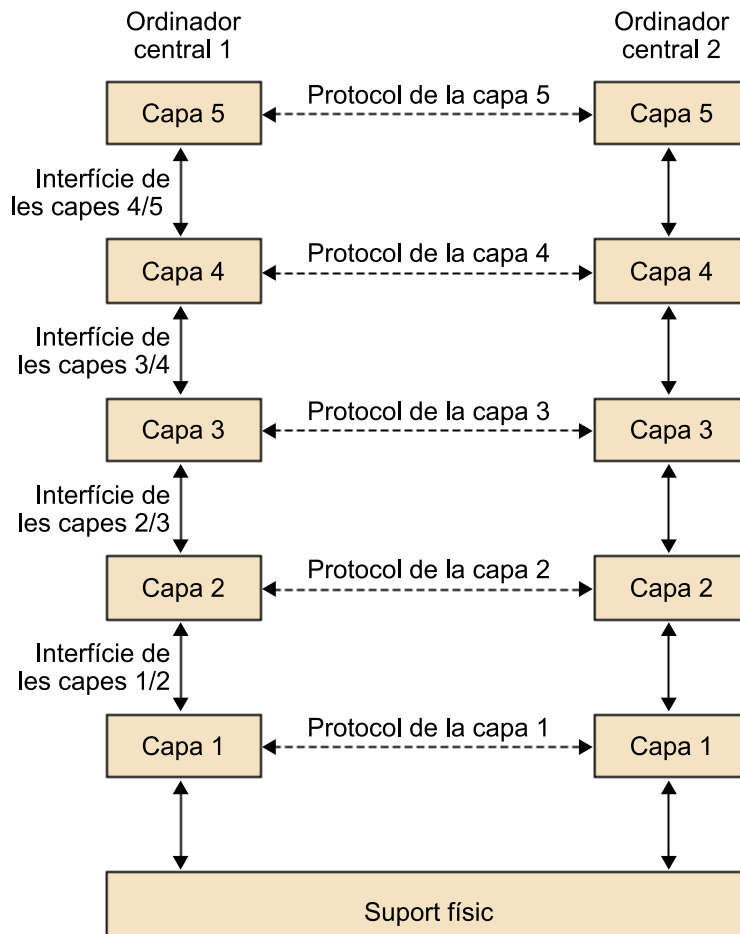
Per a reduir la complexitat del disseny, les xarxes estan organitzades en una sèrie de capes o nivells, cada una situada sobre una altra. El nombre de capes, el nom de cada capa, el contingut de cada capa i les funcions de cada capa difereixen d'un tipus de xarxa a una altra. En totes les xarxes, l'objectiu de cada capa és oferir determinats serveis a les capes superiors, amagant a les capes superiors els detalls de com estan implementats els serveis que s'ofereixen.

La capa de nivell N d'un ordinador manté comunicació amb la capa de nivell N d'un altre ordinador. Aquestes regles i convencions usades en la capa de nivell N s'anomenen *protocols*. Bàsicament un protocol és un acord entre les parts de la comunicació per a fer aquesta comunicació.

En la figura 6 es mostra una pila de protocols: les entitats que utilitzen les capes corresponents en els diferents ordinadors s'anomenen *parells*¹⁷. En altres paraules, els parells es comuniquen usant un protocol.

⁽¹⁷⁾En anglès, *peers*.

Figura 6



En la realitat, la informació no és directament transferida d'una capa N d'una màquina a la capa N de l'altra màquina. Cada capa passa la informació i el control d'aquesta a la capa immediatament inferior, i així successivament fins a arribar a l'última capa. Aquesta última capa s'anomena *capa física*, i és on es produeix la comunicació real. En la figura 6, la comunicació virtual (capa N amb capa N) es mostra en línies puntejades, i la comunicació física o real en la capa física.

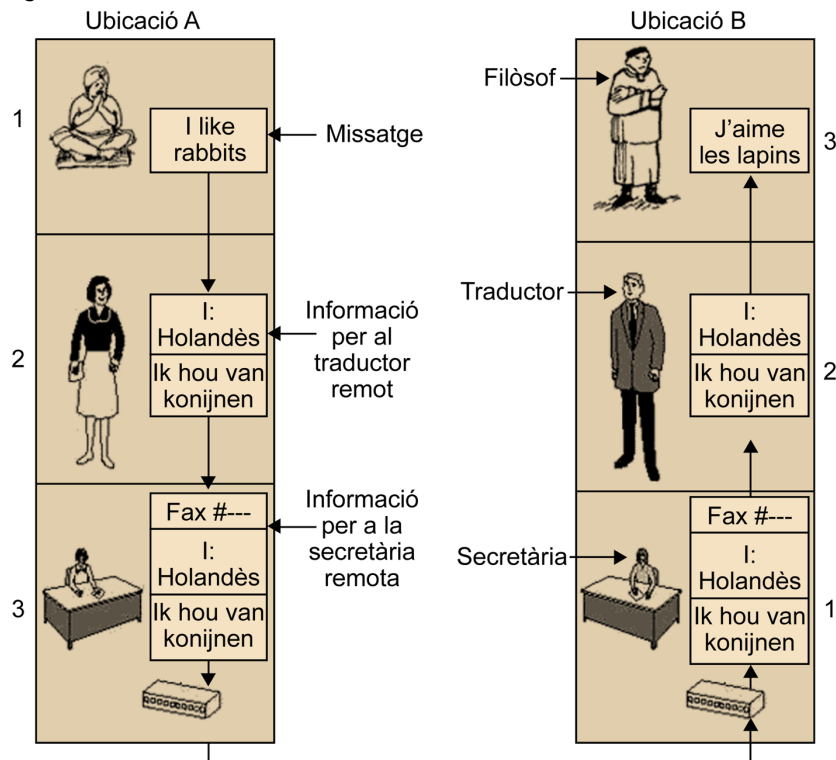
Entre cada parell de capes adjacents hi ha una interfície. La interfície defineix les operacions primitives i els serveis que la capa inferior ofereix a la capa superior. Cada capa ofereix una col·lecció de funcions perfectament ben definides. Per això, és molt simple reemplaçar la implementació d'una capa per una altra capa amb diferent implementació (si volem canviar el medi de transmissió de la informació, només cal canviar la capa de nivell 1; per exemple, canviar les línies telefòniques per canals de satèl·lit, i mantenir la resta intacte).

El conjunt de capes i protocols s'anomena **arquitectura de la xarxa**. La llista de protocols, un protocol per capa, s'anomena **pila de protocols**.

Comunicacions multicapa

Per a explicar les comunicacions multicapa, observem la figura 7.

Figura 7

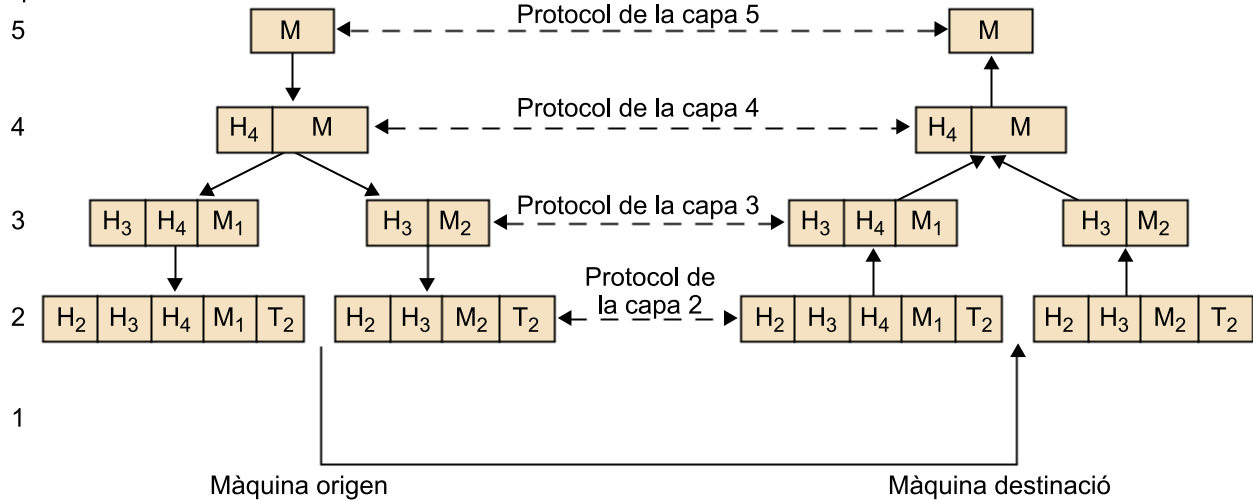


Imaginem que tenim dos filòsofs (processos parells, capa 3). Un filòsof parla urdu i anglès, i l'altre filòsof parla xinès i francès. Com que no parlen cap llengua en comú necessiten un traductor (capa 2), i cada traductor es posa en contacte amb la seva secretària (capa 1) per a enviar la informació remotament a l'altre filòsof. El filòsof 1 vol enviar un missatge al filòsof 2. Així doncs, passa el missatge en anglès a través de la interfície 2/3 al seu traductor, que tradueix el missatge en una llengua neutral (holandès). L'elecció de la llengua de la capa 2 és la mateixa en les dues entitats remotes. Després el traductor passa el missatge a la secretària, perquè el transmeti via fax (capa 1) a l'altra secretària. Quan el missatge arriba a la secretària remota, aquest el passa al traductor remot (capa 2), que tradueix el missatge al francès per a passar-lo finalment al filòsof remot. Cal veure que cada protocol és independent dels altres en la pila de protocols, i podem canviar un protocol per un altre mentre les interfícies no canviïn. Per exemple, la secretària podria optar per transmetre el missatges, en lloc de fax, per correu postal, telèfon o correu electrònic, només canviant la capa 1 sense canviar la interfície 2/1.

Observem la figura 8. Considerem que es produeix la comunicació de la capa superior. Un missatge M és produït per un programa (o procés) que funciona a la capa de nivell 5. La capa 5 envia el missatge M a la capa 4. La capa 4 posa la capçalera abans del missatge per a identificar el missatge i passa el resultat a la capa 3. La capçalera inclou el control de la informació, com els comptadors de control de seqüència, per a permetre que la capa 4 de la màquina destinació rebí els missatges en l'ordre correcte, ja que les capes inferiors no tenen cap obligació de mantenir la seqüència. En les altres capes, les capçaleres mantenen mides, temps i altres camps de control.

Figura 8

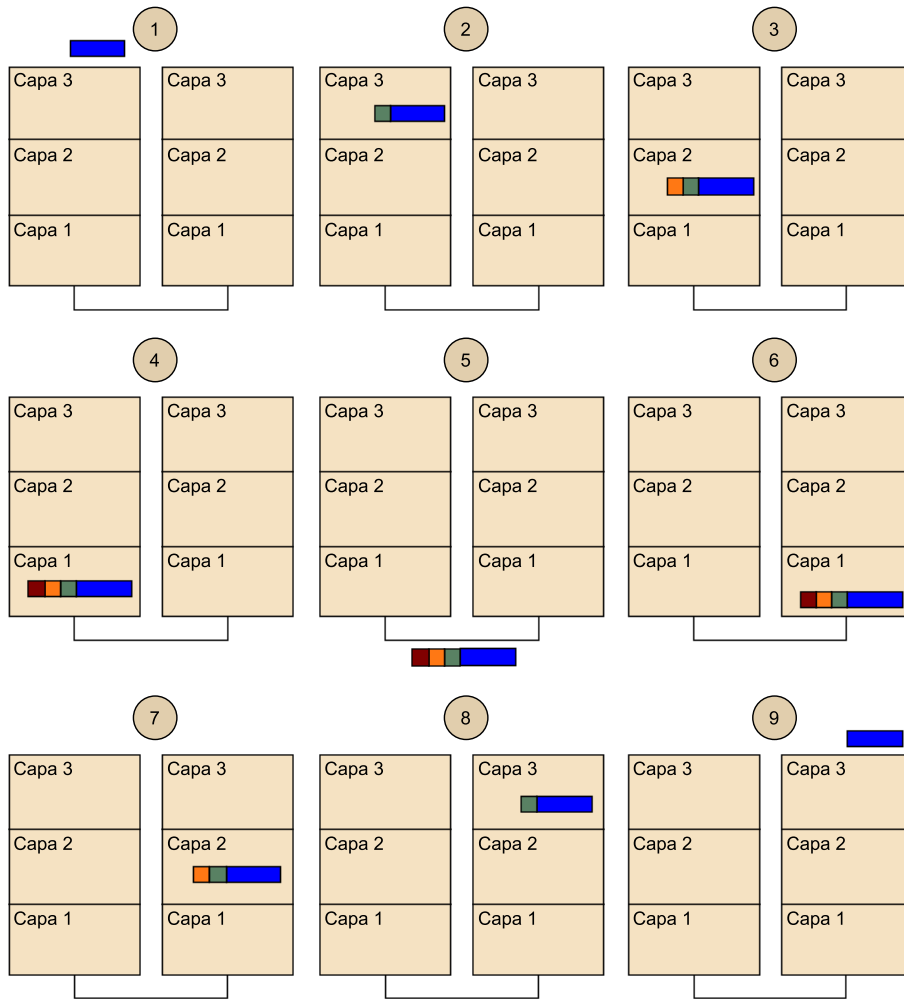
Capa



En moltes xarxes, no hi ha límit en la mida dels missatges transmesos en la capa de nivell 4, però moltes vegades el protocol de nivell 3 sí que imposa restriccions. Conseqüentment, la capa 3 ha de trencar el missatge que li envia la capa superior en diverses unitats menors, anomenades *paquets*; la capa de nivell 3 introdueix una capçalera de nivell 3 a cada paquet. En aquest exemple, M és dividit en dues parts, M_1 i M_2 .

La capa de nivell 3 decideix per quina línia de sortida transmetrà els paquets a la capa de nivell 2. La capa de nivell 2 afegeix una capçalera a cada tros i ofereix el resultat a la capa de nivell 1 (física) per a la transmissi3. A l'ordinador que rep la informaci3 el missatge es mou cap amunt, capa per capa, amb les capçaleres que es van eliminant a mesura que es progressa capa per capa cap amunt.

Figura 9



1.2.2. Consideracions de disseny

El nivell per capes ens dóna una manera estructurada de dissenyar i abstraure les tasques necessàries per a enviar informació a través de la xarxa, però a part de les capes, quan es dissenya una arquitectura de xarxa hi ha molts altres factors que s'han de considerar; els més rellevants són:

- 1) **Identificació:** cada node de la xarxa ha de poder ser identificat de manera única per tal de poder identificar els seus interlocutors.
- 2) **Encaminament:** els nodes de la xarxa han de tenir mecanismes que permetin enviar la informació a qualsevol interlocutor de la mateixa xarxa.
- 3) **Control d'errors:** una de les parts més importants de qualsevol comunicació és garantir que quan la informació arriba a l'altre node ho faci sense errors. Cal notar que els medis de transmissió no sempre són fiables, i per tant s'ha de decidir quina o quines capes verifiquen errors i com ho faran.

4) **Modes de transferència:** quin suport tindrà el protocol per a l'enviament d'informació, si es pot enviar informació en mode dúplex, semidúplex, o simplex. I en el cas que sigui necessari, si hi haurà algun tipus de prioritització en l'enviament.

5) **Control de congestió:** com que molts cops les velocitats de transmissió d'una xarxa no sempre són homogènies i de vegades hi haurà enllaços amb més càrrega que d'altres, qualsevol protocol ha de considerar la possibilitat que s'hagi de disminuir la velocitat a la qual s'envien les dades, o bé en el cas que algun paquet no arribi a la destinació s'haurà de reenviar de manera transparent a l'usuari.

6) **Mida dels paquets:** com ja hem vist anteriorment, enviar missatges molt grans no sempre és possible, i per tant s'ha de decidir quina mida màxima podran tenir els paquets que s'envien a la xarxa.

1.3. Jerarquia de protocols i encapsament

Cada capa necessita un mecanisme per a identificar l'emissor i el receptor. Des del moment que una xarxa té normalment diverses computadores, cada una de les quals té múltiples processos, es fa necessari per a un procés d'una computadora especificar amb qui es vol comunicar. Com a conseqüència de tenir múltiples destinacions, es necessita alguna forma d'adreçament per a especificar la destinació específica.

Una altra característica del disseny d'un protocol és si les dades només viatgen en un sol sentit (comunicació simplex) o si les dades viatgen en les dues direccions però no simultàniament (comunicació semidúplex), o si les dades viatgen en les dues direccions simultàniament (comunicació dúplex). El protocol ha de determinar quants canals lògics ha de gestionar, i les prioritats d'aquests canals. Moltes xarxes permeten com a molt dos canals lògics, un canal per a dades normals i un canal per a dades urgents.

El control dels errors és un altre aspecte important, ja que els enllaços de comunicacions físics no són perfectes. S'utilitzen determinats codis de detecció i de correcció d'errors, i els ordinadors que es comuniquen s'han de posar d'acord en la utilització d'un codi corrector/detector concret. A més a més, el receptor de la informació ha de comunicar a l'emissor els missatges que s'han rebut correctament i els que no s'han rebut correctament.

No tots els canals de comunicació preserven l'ordre d'enviament dels missatges. Per a solucionar la possible pèrdua de la seqüència dels missatges, el protocol ha de gestionar els diferents trossos d'informació en una memòria intermèdia¹⁸ per a ordenar-los finalment correctament.

⁽¹⁸⁾En anglès, *buffer*.

Un altre aspecte que es té en compte és quan un emissor transmet informació molt ràpidament cap a un receptor lent. S'han implementat diverses solucions, moltes de les quals utilitzen una tècnica que consisteix que el receptor envii un senyal a l'emissor indicant-li la seva problemàtica. Altres solucions limiten la velocitat a l'emissor quan supera un cert llindar.

Un altre problema és que determinats nivells acceptin missatges de longitud més llarga que un cert límit. Per això s'utilitzen mecanismes per a desassemblar, transmetre i reassemblar missatges.

La multiplexació i desmultiplexació de la capa física s'utilitza quan tot el trànsit de totes les connexions s'ha de transmetre sobre pocs circuits físics.

Quan hi ha múltiples camins entre l'origen i la destinació, s'ha de triar una ruta. Moltes vegades aquesta decisió es tria entre dues o més capes.

1.4. Interfícies i serveis

La funció de cada capa és proporcionar serveis a la capa superior. En aquesta secció estudiarem amb més detall el que s'anomenen *serveis*.

Els elements actius de cada capa s'anomenen entitats¹⁹. Cada entitat pot ser una entitat de programari (com un procés) o una entitat de maquinari (com un dispositiu intel·ligent d'entrada i sortida). Les entitats de la mateixa capa de diferents màquines s'anomenen *entitats parells*²⁰. La capa N pot usar els serveis de la capa $N - 1$ per a proporcionar el seu servei propi. Una capa pot oferir múltiples classes de serveis, com per exemple, comunicacions cares i ràpides, o comunicacions lentes i barates.

⁽¹⁹⁾En anglès, *entities*.

⁽²⁰⁾En anglès, *peer entities*.

Els serveis estan disponibles en els SAP²¹. Els SAP de la capa N són els llocs on la capa $N + 1$ pot accedir als serveis oferts. Cada SAP té una adreça que l'identifica únicament. Per a fer aquest punt més clar, els SAP en el sistema de telefonia són els connectors als quals es connecten els aparells de telèfon, i l'adreça SAP és el número de telèfon d'aquest connector. En el sistema postal, l'adreça SAP és el nom del carrer i el número de l'edifici. Per a enviar un carta postal, has de conèixer l'adreça SAP.

⁽²¹⁾SAP és la sigla de *service access point*.

Per tal que dues capes s'intercanviïn informació, s'han de definir una sèrie de normes sobre la interfície. En una interfície típica l'entitat de la capa $N + 1$ passa una IDU²² cap a l'entitat de la capa N a través del SAP, tal com es mostra en la figura 10. La IDU consisteix en una SDU²³ i una determinada informació de control²⁴. L'SDU és la informació passada a través de la xarxa cap a l'entitat parell i després pujada cap a la capa remota $N + 1$. La informació de control es necessita per a ajudar la capa inferior a fer el seu treball (per exemple, per a indicar el nombre d'octets de l'SDU), però no forma part de la informació pura.

⁽²²⁾IDU és la sigla d'*interface data unit*.

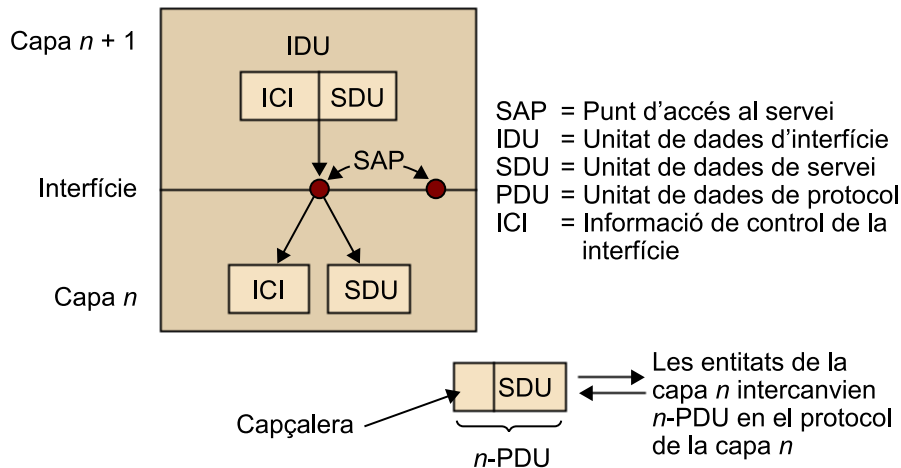
⁽²³⁾SDU és la sigla de *service data unit*.

⁽²⁴⁾En anglès, *interface control information*.

Per a transmetre l'SDU, l'entitat de la capa N l'ha de fragmentar en diversos trossos, a cada un dels quals s'assigna una capçalera, i llavors és enviat com un PDU²⁵ o paquet. Per mitjà de les capçaleres de la PDU, l'entitat parell identifica quines PDU contenen dades i quines contenen informació de control, i proporciona números de seqüència i comptadors.

⁽²⁵⁾PDU és la sigla de *protocol data unit*.

Figura 10



Les capes poden oferir dos tipus diferents de serveis a les capes superiors: connexions orientades i no orientades a connexió.

Un servei orientat a connexió és modelat com un sistema de telefonia: per a parlar amb algú, primer hem de marcar el número de telèfon, parlar i finalment penjar el telèfon. Així, inicialment es produeix un establiment de connexió, després s'utilitza la connexió per a parlar i transmetre informació i finalment es tanca la connexió. Aquesta connexió actua com un tub: l'emissor envia objectes o bits cap al receptor, i el receptor els agafa en el mateix ordre que li són enviats.

Un servei no orientat a connexió és modelat com un sistema postal. Cada missatge o carta postal porta l'adreça completa del destinatari, i cada missatge o carta és enviat pel sistema independentment de les altres cartes. Normalment, de dos missatges que són enviats a la mateixa destinació, el primer enviat serà el primer a ser rebut. També és possible que el primer pugui sofrir un retard i el segon missatge enviat arribi abans que el primer. En una connexió orientada a connexió això és impossible.

Cada servei està caracteritzat amb el que s'anomena *qualitat de servei*. Molts serveis són fiables en el sentit que mai no perden informació. Normalment un servei fiable s'implementa mitjançant l'enviament de reconeixements per part del receptor de cada missatge, i així l'emissor sap que el missatge s'ha rebut

⁽²⁶⁾En anglès, *acknowledgements*, abreujat *ack*.

⁽²⁷⁾En anglès, *overhead*.

correctament. El procés de reconeixements²⁶ introdueix informació de control redundant²⁷, no informació útil, i un cert retard, cosa que normalment no és desitjable en termes de rendiment de la xarxa.

La típica situació en què s'utilitza un servei fiable orientat a connexió és la transmissió de fitxers. L'usuari del servei vol que els bits del fitxer arribin en l'ordre en què van ser emesos, i que arribin tots els bits del fitxer.

Per a moltes aplicacions, els retards dels reconeixements són inacceptables. Per exemple, en el cas del trànsit de veu digitalitzada. És preferible per als usuaris del telèfon sentir per l'auricular una mica de renou de la línia o una paraula mal entesa de tant en tant, que introduir un retard d'espera del reconeixement. També, quan es transmet una pel·lícula de vídeo, és preferible tenir uns quants punts²⁸ incorrectes (que en la pràctica quasi no és cap problema) que haver de veure la pel·lícula amb aturades per a corregir els errors (és molt irritant).

⁽²⁸⁾En anglès, *pixels*.

Les connexions no fiables (amb la no-utilització del mecanisme de reconeixement) i les no orientades a connexió s'anomenen *servei de datagrama* (per exemple, l'enviament de correu electrònic).

També hi ha algunes situacions en què és convenient no haver d'establir una connexió per a enviar un missatge curt, però en què la fiabilitat ha de ser essencial. Per això s'utilitzen els serveis no orientats a connexió amb reconeixement. Per exemple quan s'envia un correu electrònic, el receptor del correu quan l'ha rebut retorna un altre correu per a indicar a l'emissor que l'ha rebut.

Un altre tipus de servei és el *request-reply-service*: l'emissor transmet un datagrama simple que conté la petició. La resposta conté tant la pregunta com la resposta.

Figura 11

	Servei	Exemple
Orientat a la connexió	Seqüència de missatges fiable	Seqüència de pàgines
	Seqüència d'octets fiable	Inici de sessió remot
	Connexió no fiable	Veu digitalitzada
Sense connexió	Datagrama no fiable	Correu brossa
	Datagrama reconegut	Correu certificat
	Sol·licitud de resposta	Consulta a la base de dades

Un servei formalment s'especifica amb un conjunt de primitives (operacions) disponibles per a l'usuari o una altra entitat per a accedir al servei. Aquestes primitives manen al servei fer alguna acció o retornar el resultat d'una acció de l'entitat parell. La taula següent ens mostra les maneres de classificar les primitives del servei:

Primitiva	Significat
<i>Request</i>	Una entitat vol que el servei faci alguna cosa.
<i>Indication</i>	Una entitat és informada d'algun esdeveniment.
<i>Response</i>	Una entitat vol respondre a algun esdeveniment.
<i>Confirm</i>	La resposta a la darrera petició es confirma.

Considerem com s'estableix i s'allibera una connexió. L'entitat que estableix la connexió fa una *CONNECT.request* i el receptor rep la *CONNECT.indication* que anuncia que una entitat es vol connectar al receptor. L'entitat que rep la *CONNECT.indication* utilitza la *CONNECT.response* per a comunicar que accepta o rebutja la connexió proposada. L'entitat que fa la petició de connectar rep l'acceptació o rebuig de la seva connexió a partir de la primitiva *CONNECT.confirm*.

Cada primitiva pot portar paràmetres o no. Per exemple, la primitiva *CONNECT.request* ha d'especificar l'adreça de la màquina a la qual es vol connectar, el tipus de servei, i la longitud màxima del missatge per utilitzar durant la connexió. Els paràmetres de la *CONNECT.indication* han de contenir la identitat de qui fa la crida, el tipus de servei desitjat i la longitud màxima del missatge proposada. Si l'entitat cridada no accepta la longitud màxima del missatge proposada, pot fer amb la primitiva *response* una nova proposta de la longitud del missatge. Els detalls de cada negociació formen part de cada protocol.

Els serveis poden ser confirmats o no confirmats. En un servei confirmat hi ha les primitives *request*, *indication*, *response*, *confirm*. En un servei no confirmat només hi ha les primitives *request* i *indication*. El servei *CONNECT* només s'utilitza en els serveis confirmats perquè l'entitat remota ha de donar el vistiplau a l'establiment de la connexió.

Les vuit primitives d'un servei orientat a connexió són les següents:

- 1) **CONNECT.request**: demana per l'establiment de la connexió.
- 2) **CONNECT.indication**: indica a la part cridada un establiment de connexió.
- 3) **CONNECT.response**: utilitzat per la part cridada per a acceptar o rebutjar la connexió o crida.
- 4) **CONNECT.confirm**: indica al qui crida si la connexió o crida s'ha acceptat.
- 5) **DATA.request**: indica que la informació s'envia.
- 6) **DATA.indication**: indica l'arribada de la informació.

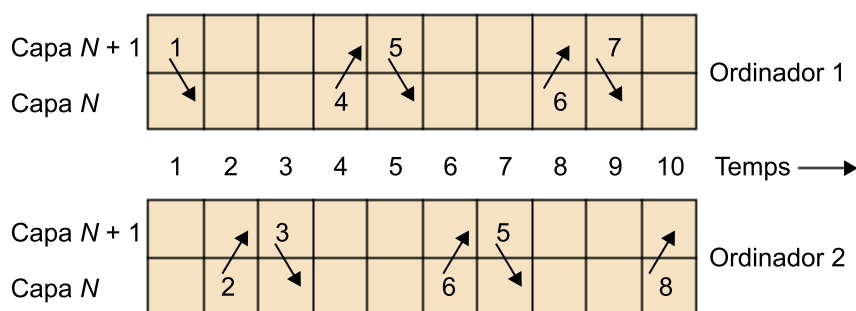
7) **DISCONNECT.request**: indica que la connexió s'ha tancat.

8) **DISCONNECT.indication**: indica a l'altra entitat el tancament de la connexió

En aquest exemple, el servei *CONNECT* és confirmat, mentre que el servei *DISCONNECT* és no confirmat.

La figura 12 mostra la mateixa seqüència descrita abans. Cada pas inclou una interacció entre dues capes d'una de les computadores. Cada petició o resposta provoca una indicació o confirmació a l'altra part. L'usuari del servei és a la capa $N + 1$, i la capa N és la capa que ofereix el servei:

Figura 12



Protocols i serveis

Els protocols i els serveis són dos conceptes distints, malgrat que en general se solen confondre. Un servei és un conjunt de primitives (operacions) que una capa proporciona a la capa superior. El servei defineix quines operacions és capaç d'oferir la capa, però no diu res de com estan implementades aquestes operacions. Un servei és una interfície entre dues capes; la capa de nivell inferior és la qui proporciona el servei i la capa de nivell superior la que utilitza el servei.

Un protocol és un conjunt de normes que governen el format i el significat de les trames, paquets o missatges que s'intercanvien les entitats entre una mateixa capa. Les entitats utilitzen els protocols per a implementar les definicions del servei.

Un servei seria com un tipus abstracte de dades o un objecte en els llenguatges de programació. Defineix operacions que es poden fer sobre l'objecte però no s'especifica com s'han implementat les operacions. Un protocol relata com s'implementa el servei i si és possible que no sigui visible per a l'usuari del servei.

1.4.1. Tipus de connexió de serveis

Cada servei estableix una connexió amb el servei anàleg de l'equip de destinació; depenent de com es gestioni aquesta connexió entre serveis, un servei pot ser orientat a connexió o no orientat a connexió.

En el servei orientat a connexió abans de l'enviament d'informació s'estableix una connexió, que s'allibera quan acaba la transferència. Cal no confondre un servei orientat a connexió amb la commutació de circuits vista anteriorment; en el servei orientat a connexió no es fa cap reserva de recursos, sinó una estructura de dades que manté l'estat de la connexió. El fet que un protocol sigui orientat a connexió implica que la informació ha d'arribar ordenada i

Vegeu també

Vegeu l'exemple per excel·lència d'un protocol orientat a connexió, el TCP, en el subapartat 2.5 d'aquest mòdul.

sense errors. El fet de mantenir la connexió implica que tots dos extrems són coneguts, i per tant no és necessari indicar quina destinació té la comunicació. Aquest pas es fa durant l'establiment de la connexió.

Per la seva banda, els serveis no orientats a connexió no precisen ni assumeixen cap connexió prèvia entre els dos interlocutors; d'aquesta manera la informació se separa en paquets (anomenats *datagrames* en aquest tipus de serveis) i s'envia a la xarxa sense saber ni el camí que seguirà el paquet ni si arribarà a la seva destinació, ni tan sols en quin ordre ho farà; cada datagrama s'envia de manera autònoma i independent de la resta. Per tant, per a poder enviar un datagrama amb un protocol no orientat a connexió, el datagrama ha de tenir l'adreça destinació, i els elements intermedis de la xarxa han de tenir informació de com cal fer arribar la informació depenent de la destinació de cada datagrama rebut. L'exemple per excel·lència de serveis no orientats a connexió és IP. Curiosament HTTP també és un protocol no orientat a connexió.

Vegeu també

Vegeu el protocol IP en l'apartat 3 d'aquest mòdul didàctic.

2. Models de referència

Les dues arquitectures de xarxa més conegudes avui dia són OSI, utilitzat com a model teòric, i TCP/IP, l'èxit del qual al món de les xarxes ha estat enorme.

2.1. Antecedents

La fase inicial de la teleinformàtica es va caracteritzar per una gran confusió sobre dispositius i normes de transmissió. Durant els anys seixanta, setanta i vuitanta es van crear diferents arquitectures comercials de xarxes d'ordinadors de propietat, en què cada fabricant establí les seves normes de connexió i transmissió pròpies, que en general no coincidien amb les de cap altre fabricant. A continuació destaquem les arquitectures més importants.

2.1.1. SNA d'IBM

És una arquitectura creada per l'empresa IBM el 1974 (1a. versió), basant-se en un model de set nivells. La torre OSI es va inspirar majoritàriament en aquest model arquitectònic, ja que totes dues tenen els mateixos nivells i pràcticament les mateixes funcionalitats.

L'arquitectura SNA va solucionar la complexitat produïda per la multitud de productes de comunicacions d'IBM. Actualment es continua fent servir en el sector bancari.

Figura 13

SNA	OSI
Serveis de transacció	Aplicació
Serveis de presentació	Presentació
Control del flux de dades	Sessió
Control de transmissió	Transport
Control de ruta	Xarxa
Control d'enllaç de dades	Enllaç de dades
Física	Física

2.1.2. DNA de DEC (DECnet)

Grup de productes de comunicacions de xarxa, desenvolupat per Digital Equipment Corporation (DEC²⁹), que s'utilitza per a les connexions en xarxa dels ordinadors i equips d'aquesta marca i els compatibles. Està molt estès en el món acadèmic.

⁽²⁹⁾DEC és la sigla de Digital Equipment Corporation.

S'han llançat al mercat diverses versions del DECnet desenvolupades en forma de fases: fase I (1975), fase II, fase III i fase IV (1982) i fase V. La fase IV és la versió més estesa posada en execució. Es basa en l'arquitectura de xarxa DNA, i es recolza en els protocols de propietat de Digital i altres protocols de propietat i estàndard.

Figura 14

DECnet Phase IV protocol suite	
Application	DAP: Data Access Protocol CTERM: Command Terminal
Network Management	NICE: Network Information (and) Control Exchange MOP: Maintenance Operation Protocol
Session	SCP: Session Control Protocol
Transport	NSP: Network Service Protocol
Network	DRP: DECnet Routing Protocol
Data link	DDCMP: Digital Data Communications Message Protocol Ethernet, Token ring, HDLC, FDDI, ...
Physical	Ethernet, Token ring, FDDI, ...

Exemple d'arquitectura DECnet

Unes màquines basades en aquesta arquitectura han estat la sèrie VAX de Digital.

2.1.3. XNS de Xerox

XNS³⁰ és un conjunt de protocols desenvolupats per l'empresa Xerox Parc a començament dels anys vuitanta. XNS va ser usat per 3Com i per altres sistemes comercials com Novell NetWare i Banyan VINES. Va influir en el desenvolupament del model de xarxa OSI.

⁽³⁰⁾XNS és la sigla de *xerox network services*.

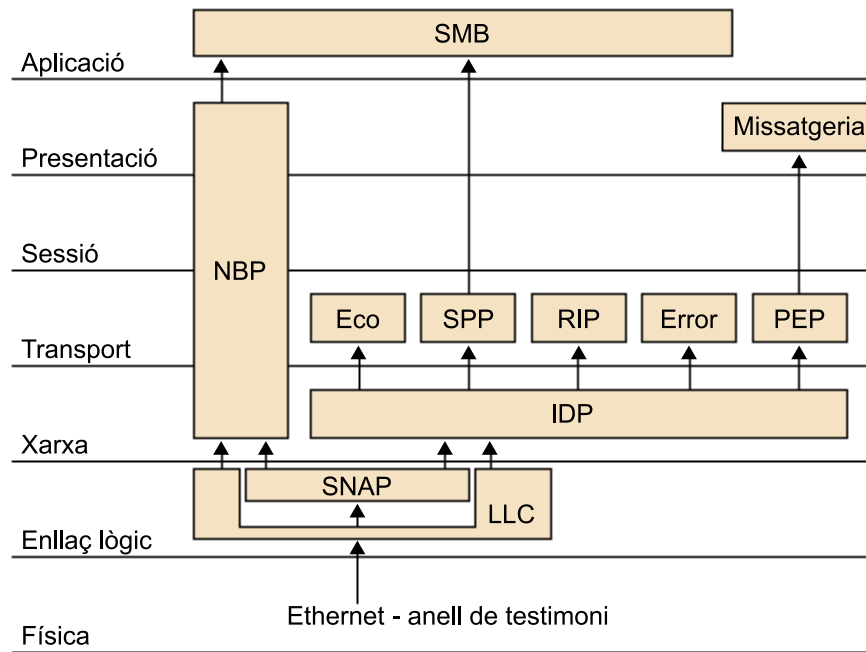
El principal protocol de la capa de xarxa va ser l'IDP³¹, molt similar al protocol IP del model TCP/IP. SPP³² i PEP³³ van ser els dos principals protocols de la capa de transport, molt similars als protocols TCP i UDP de la torre TCP/IP, respectivament.

⁽³¹⁾IDP és la sigla d'*Internet datagram protocol*.

⁽³²⁾SPP és la sigla de *sequenced packet protocol*.

⁽³³⁾PEP és la sigla de *packet exchange protocol*.

Figura 15. Paquet de protocols XML



El protocol RIP, que va ser usat com un protocol d'intercanvi d'informació entre encaminadors, roman en ús, amb lleugeres modificacions, a la torre TCP/IP d'Internet.

2.1.4. NetWare de Novell

En les seves diferents versions el programari de xarxa de l'empresa Novell va arribar a ser el més usat al món, fins que va ser desbancat pel model Windows, en les seves versions NT, 2000, 2003 i 2008. Era una de les plataformes de xarxa més fiables, per oferir accés segur i continuat a la xarxa. Ofereix un alt rendiment, gran capacitat de creixement (escalabilitat) i òptima gestió dels recursos d'informació (servidors d'arxius).

La pila de protocols de propietat en què es basava exclusivament NetWare fins a la versió 4 era una versió modificada del XNS denominada *SPX/IPX*, que guardava una certa semblança amb TCP/IP. Va aparèixer abans que OSI i, per tant, no es basa en aquesta especificació. Les últimes versions, per adaptar-se a la moda imperant, són capaces d'utilitzar TCP/IP de manera plena i exclusiva.

Des dels seus inicis va utilitzar arquitectures d'Ethernet o anell de testimoni en els nivells físic i d'enllaç. Les capes de sessió i presentació no existeixen i en el nivell d'aplicació es poden usar diversos protocols.

Actualment Netware se centra com més va més en els serveis de xarxa (directori actiu, impressió, administració de xarxes, seguretat) i ha abandonat progressivament el paper de sistema operatiu de xarxa, que Novell està traslladant a Linux, per la qual cosa ha adquirit la companyia SUSE Linux.

Figura 16

Model de referència OSI	NetWare				
Aplicació	Aplicacions			Aplicació basada en RPC	
Presentació	Emulador de NetBIOS	Intèrpret d'ordres de NetWare (client)	Protocol principal de NetWare (NCP)		Suport LU 6.2
Sessió				RPC	
Transport	SPX				
Xarxa	IPX				
Enllaç de dades	Ethernet/ IEEE 802.5	Anell de testimoni / IEEE 802.5	FDDI	ARCnet	PPP
Física					

2.1.5. AppleTalk de Macintosh

AppleTalk és un conjunt de protocols desenvolupats per Apple Inc. per a la connexió de xarxes. Va ser inclòs en el Macintosh el 1984. Actualment està en desús en els Macintosh, en favor de les xarxes TCP/IP.

Figura 17. Protocols AppleTalk en el model OSI

Capes OSI	Protocols AppleTalk					
7						
6		AFP	PAP			
5	ZIP	ASP		ADSP		
4		ATP			AEP	NBP
3	DDP					
2		LLAP	ELAP	TLAP	FDDI	←AARP
1	LocalTalk	Ethernet	Anell de testimoni	FDDI		

2.1.6. NETBEUI de Microsoft

És un protocol de nivell de xarxa sense encaminament i bastant senzill utilitzat en les primeres xarxes de Microsoft. Va ser desenvolupat per a les xarxes d'IBM per Saytek. El 1987 Microsoft i Novell van usar també aquest protocol per a la seva xarxa dels sistemes operatius LAN Manager, NetWare, Windows 3.x, Windows 95 i Windows NT. A causa que NetBEUI no té encaminament, només es pot usar per a comunicar terminals en el mateix segment de xarxa, o en dos

segments connectats mitjançant un pont de xarxa. És recomanable només per a xarxes mitjanes o petites. Cobreix les funcionalitats dels nivells de xarxa, transport i sessió de la torre OSI.

Figura 18

OSI				TCP/IP	
Aplicació					Aplicació
Presentació					
Sessió	NetBIOS	NetBEUI	NetBIOS	NetBIOS	TCP/DUP
Transport	IPX ¹		DECnet	TCP&DUP	
Xarxa				IP	IP
Enllaç	802.2 802.3,802.5	802.2 802.3,802.5	Ethernet V2	Ethernet V2	Ethernet o altres
Física					

2.1.7. TCP/IP del món militar

Prové del món militar durant l'època de la Guerra Freda. Va ser creat amb la idea de dissenyar un sistema de comunicacions que sobreviagués a un atac nuclear. En els seus inicis va ser incorporat a l'SO UNIX, fet que va provocar que la seva utilització s'estengués mundialment. Avui dia TCP/IP s'ha convertit en un estàndard *de facto*. La importància de TCP/IP és tan gran que la major part de les xarxes parlen TCP/IP, sense perjudici que a més puguin incorporar altres famílies natives de protocols. La tecnologia TCP/IP està definida en un conjunt de documents denominats *RFC*³⁴, publicats a la pàgina oficial de l'IETF.

⁽³⁴⁾ *RFC* és la sigla de *request for comments*.

2.2. Necessitat d'estandardització

Els primers ordinadors feien treballs concrets, ubicats en llocs tancats i aïllats. Cada fabricant venia el seu sistema de comunicacions integral a les empreses, i s'encarregava de tots els aspectes relacionats amb la xarxa (equips, programari, cablatge, etc.). Quan una empresa necessitava alguna ampliació o modificació, només podia tenir un únic interlocutor per a proporcionar els serveis necessaris. Això portava alguns problemes, com ara:

- Els costos eren elevats, ja que els adaptadors eren a mesura.
- Nul·la interoperativitat, ja que resultava impossible interconnectar uns sistemes amb altres, a causa de la falta de compatibilitat entre dispositius. Quan es triava un subministrador era per sempre.

Amb aquestes limitacions, a partir dels anys vuitanta van començar a aparèixer organitzacions que construïen equips per a interconnectar xarxes, i fer passar-les entre ordinadors de diferents fabricants. Podem destacar les fites següents:

1) Tres empreses, DEC, Intel i Xerox (Consorti DIX), es van posar d'acord per a crear un primer estàndard per a xarxes d'àrea local per a la xarxa Ethernet. El 1982 DIX va distribuir la versió II d'Ethernet, que és la versió estàndard per a TCP/IP.

2) El comitè 802.3 d'IEEE va recollir la versió de DIX i va començar a treballar en una trama Ethernet millorada. La xarxa Ethernet tenia un baix cost i unes altes prestacions, juntament amb la senzillesa d'operació.

3) El sistema operatiu UNIX, creat per Bell Laboratories, es va començar a popularitzar i diverses organitzacions (empreses i universitats) el van implementar en els seus sistemes (BSD-UNIX de Berkeley, Xenix, SunOS, HP-UX, etc.). Aquesta va ser la principal causa de l'extensió de TCP/IP, ja que estava inclòs en el seu nucli³⁵.

⁽³⁵⁾En anglès, *kernel*.

4) Creació d'un model de referència OSI d'ISO (el tractarem a continuació).

Aquests fets van provocar que els sistemes que fins aquell moment oferien una arquitectura tancada passessin a una arquitectura oberta i les xarxes comencessin a ser compatibles.

Es van començar a estandarditzar components i funcionalitats de cada nivell arquitectural per a poder intercomunicar els sistemes heterogenis. La informació dels estàndards es va fer pública, fet que no passava amb els sistemes de propietat.

Es creen fòrums externs als organismes que els poden arribar a forçar a decidir-se per un o altre estàndard (ATM Forum, Forum Gigabit Ethernet, Forum ADSL, etc.).

Podem veure els avantatges i desavantatges de l'existència d'estàndards en la taula següent:

Avantatges dels estàndards	Desavantatges dels estàndards
<ul style="list-style-type: none"> • Estimula la competitivitat entre els fabricants. • Evita monopolis. • Baixa els preus. • Flexibilitat d'instal·lar equips. • Heterogeneïtat de fabricants. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tardança en aprovar-se. • Els fabricants creen equips en condicions de propietat. • Els interessos dels fabricants i organismes no són sempre els mateixos. • Possibilitat d'acords més polítics i comercials que tècnics. • Els fabricants són els que desenvolupen més R + D, la qual cosa provoca que forci els organismes a definir-se. • Molts organismes es poden afectar a l'estandardització, ja que es podria arribar a classificar geogràficament, per indústria, etc.

Hi ha importants guanys econòmics per a les empreses que han desenvolupat un sistema si aquest es converteix en estàndard. També, això pot provocar que altres empreses surtin perjudicades.

2.3. Organismes d'estandardització

Considerant els avantatges i inconvenients és necessari que hi hagi organismes internacionals que regulin les comunicacions. La taula següent mostra una llista dels principals organismes internacionals:

Sigles	Nom complet	Descripció
EIA	Electronic Industries Association	S'encarrega d'estàndards a escala física i de cablatge.
IEEE	Industries of Electrical and Electronic Engineers	Organització professional el projecte més conegut de la qual és la definició de l'estàndard 802. Estandardització de les xarxes d'àrea local.
ITU*	International Telecommunication Union	Organització responsable de tota l'estandardització referent als aspectes de comunicacions en general (veu, dades). Operadors de telecomunicacions.
ISOC	Internet Society	Aquest organisme consta de diferents òrgans referents a Internet.
IAB	Internet Activities Board	Òrgan encarregat de determinar les necessitats tècniques i la presa de decisions sobre l'orientació tecnològica d'Internet. Òrgan que aprova les recomanacions i estàndards d'Internet, que es recullen en els RFC.
IETF	Internet Engineering Task Force	Grup de treball, depenent d'IAB, que es dedica a l'estudi d'aspectes tècnics d'Internet i que ratifica els estàndards publicats com a RFC.
IRTF	Internet Research Task Force	Fòrums i grups de treball d'Internet.
ANSI	American National Standards Institute	Membre de l'ISO coneguda per l'estandardització d'FDDI.
CCITT	Consultative Comitee for International Telegraph and Telephone	Va crear l'estàndard X.25.
ECMA	European Computer Manufactures Association	
ISO	International Organization for Standardization	Defineix el model de referència OSI. Estàndards industrials.
TIA	Telecommunication Industry Association	Estàndards d'escala física i cablatges.
CEPT	Conference European of Postand Telecommunications	Organisme de les PTT. Els seus documents es denominen <i>norme européenne de telecommunications</i> (NET).
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Telecomunicacions europees (GSM, seguretat).
NIST	National Institute of Standards and Technology	Departament de comerç dels EUA. Estàndards als EUA.

* El 1865 els representants dels països europeus van veure la necessitat que hi hagués una organització que s'encarregués de l'estandardització de les comunicacions per telègraf.

2.4. El model de referència OSI

Entre els diferents models proposats per les diferents organitzacions internacionals de normalització en la dècada dels vuitanta, va destacar una arquitectura de xarxes d'ordinadors basada en nivells, el model OSI³⁶ definit per l'organització ISO.

⁽³⁶⁾Sigla de l'Organització Internacional d'Estàndards. En anglès, International Organization for Standardization.

Al final dels anys setanta, l'ISO va anar definint l'arquitectura de xarxes OSI a fi de promoure la creació d'una sèrie d'estàndards que especifiquessin un conjunt de protocols independents de qualsevol fabricant. Pretenia establir les normes i estàndards perquè el programari i els dispositius de diferents fabricants poguessin funcionar junts.

A més de facilitar les comunicacions entre sistemes diferents, amb OSI l'ISO pretenia impedir que cap de les arquitectures de fabricants existents no adquirís una posició hegemònica, especialment SNA d'IBM.

Segurament l'aportació més important de la iniciativa OSI ha estat precisament la definició teòrica del seu model arquitectònic. Aquesta ha servit com a marc de referència per a descriure i estudiar xarxes "reals". Per aquest motiu generalment l'arquitectura OSI es denomina *model de referència OSI*.

El model OSI està compost per nivells o capes, i en cada nivell s'agrupen una sèrie de funcions o protocols necessaris per a comunicar sistemes. Els principis que es van aplicar per a establir aquests set nivells van ser el següents:

- Una capa es crearà en situacions en què es necessita un nivell diferent d'abstracció.
- Cada capa haurà de fer una funció ben definida.
- Els problemes es resolen en una capa concreta sense afectar la resta de les capes.
- Cada capa es recolza en els serveis de la capa immediatament inferior.
- Cada capa oferirà serveis a capes superiors sense que aquestes sàpiguen com es fan els serveis.
- La funció que farà cada capa s'haurà de seleccionar amb la intenció de definir protocols normalitzats internacionalment.
- Els límits de les capes s'hauran de seleccionar tenint en compte que s'ha de minimitzar la quantitat d'informació que s'ha de passar entre capes. La frontera entre capes ha de ser el més senzilla possible.
- El nombre de capes ha de ser prou gran perquè les funcions diferents no s'hagin de posar juntes a la mateixa capa. També haurà de ser prou petit perquè la seva arquitectura no sigui difícil de manejar.

Les capes es poden veure en la figura 19:

Figura 19

7	Aplicació	Processos de la xarxa a l'aplicació	} Capes superiors
6	Presentació	Representació de dades	
5	Sessió	Comunicació entre amfitrions	
4	Transport	Connexions extrem a extrem	
3	Xarxa	Direccions i millor ruta	} Capes inferiors
2	Enllaç de dades	Accés als mitjans	
1	Física	Transmissió binària	

Les capes es poden agrupar en dos subconjunts convenientment diferenciats:

- 1) **Capes inferiors:** són proveïdores de serveis de transport de les capes superiors. Tracten problemes com errors del sistema de transmissió, cerca de rutes òptimes, etc.
- 2) **Capes superiors:** la seva missió és donar serveis a l'usuari del sistema de comunicacions. Confien en les prestacions dels nivells inferiors.

L'objectiu del model és el desenvolupament de protocols per a desenvolupar xarxes internacionals. Alguns protocols es van desenvolupar, però en canvi d'altres es van deixar de costat a favor d'Internet (TCP/IP).

OSI i SNA

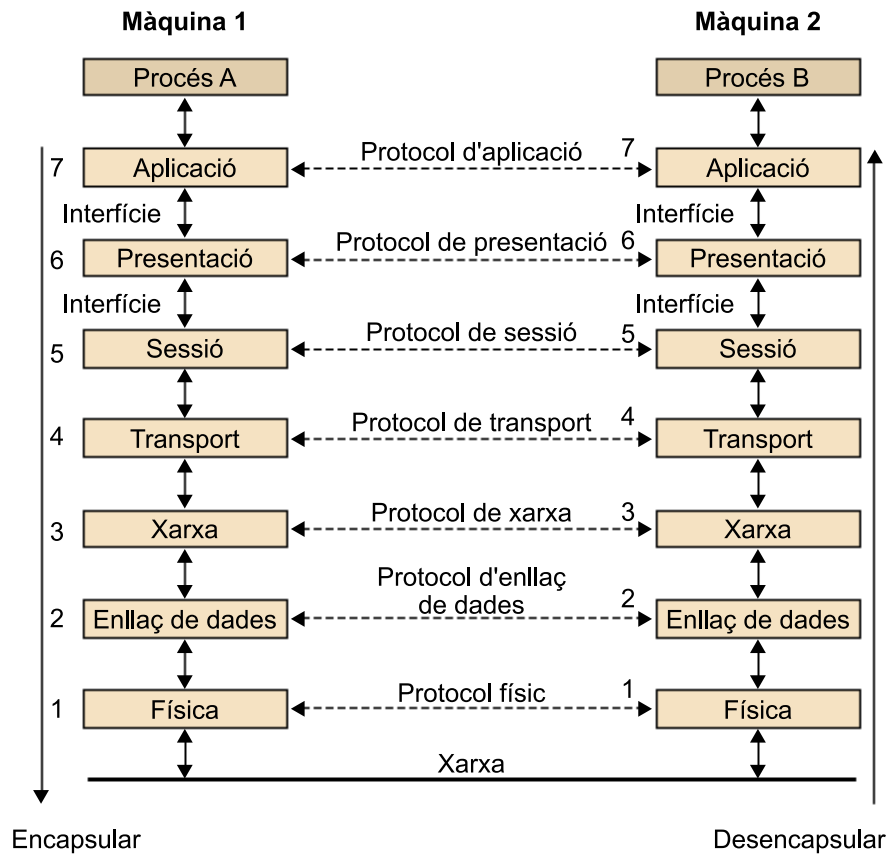
Cal assenyalar la sospitosa coincidència del nombre de capes d'OSI amb el d'SNA, l'arquitectura de xarxa per a grans sistemes d'IBM, que estava en ple apogeu en el moment en què es va definir OSI.

2.4.1. Procés d'encapsulació i desencapsulació

El model OSI descriu com es desplaça la informació des dels programes d'aplicació de diferents ordinadors en un medi de la xarxa. Cada capa fa dos processos de comunicació:

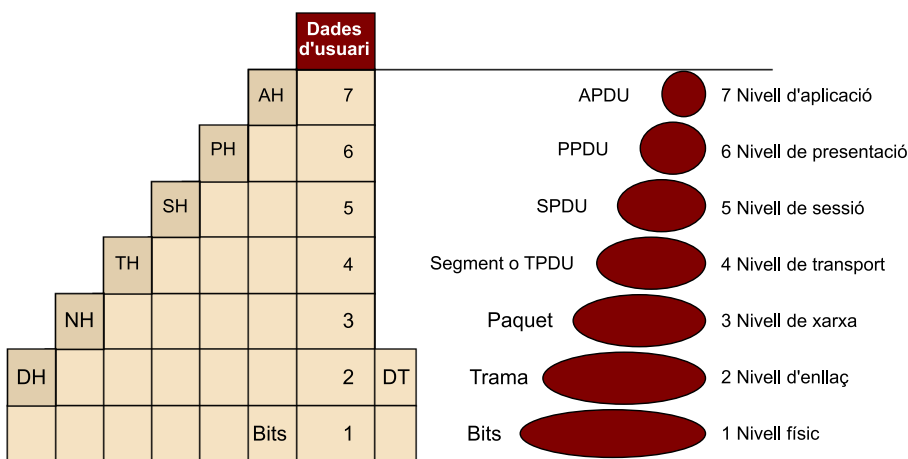
- 1) **Comunicació horitzontal:** comunicació amb la seva capa igual de l'altre sistema, que rep el nom de *protocol*.
- 2) **Comunicació vertical:** comunicació amb els seus nivells immediatament superior i inferior, que rep el nom de *primitives de servei*.

Figura 20



Quan un usuari necessita transmetre dades a una destinació, el sistema de xarxa va afegint informació de control (capçaleres) per a cada un dels serveis que utilitzarà la xarxa per a executar l'ordre de transmissió.

Figura 21



Vegem, en un breu resum adequadament ampliat en temes posteriors, quina és la utilitat de cada una d'aquestes capes.

2.4.2. La capa física

És la capa de més baix nivell de la torre OSI, la més propera al maquinari, la que s'encarrega de definir les característiques físiques del medi de transmissió. La funció de la capa física és proporcionar al nivell d'enllaç un accés al sistema de comunicacions que sigui independent dels detalls tècnics i funcionals d'aquest.

El seu disseny inclou quatre aspectes:

- 1) **Mecànic.** Indica les especificacions dels connectors, mida i forma, grossor del cable, tipus d'aïllant, nombre de pins.
- 2) **Elèctric/òptic/electromagnètic.** Indica com es representen els bits: durada dels polsos elèctrics o òptics, voltatge, tipus de senyal de sortida, impedància, velocitat de transmissió, característiques i naturalesa del medi (per exemple, el medi elèctric és la conducció dins d'un cable coaxial, l'òptic és la conducció en la fibra òptica, i l'electromagnètic és la propagació d'ones en l'espai).
- 3) **Funcional.** Funcions dels circuits d'una interfície del sistema: codificació, modulació.
- 4) **De procediment.** Seqüència d'esdeveniments en l'intercanvi de flux.

Exemples de protocols de la capa física

Són exemples de la capa física les normes EIA RS-232-C, utilitzades pels ports sèrie dels ordinadors personals, EIA-RS-449, ITU-T V.24/V.28/V.35, etc. Quant a les xarxes locals de difusió, el nivell físic se sol incloure en el subnivell MAC³⁷ del nivell d'enllaç. Corresponen a aquest subnivell les especificacions IEEE 802.3, 802.4, 802.5, etc.

Els equips que podem trobar en aquest nivell són els següents: concentradors Ethernet (LAN), MAU d'anell de testimoni (LAN) multiplexors, mòdems, commutadors de circuits (WAN)

⁽³⁷⁾MAC és la sigla de *medium access control*.

2.4.3. La capa d'enllaç

El seu principal objectiu consisteix a oferir a la capa immediatament superior (nivell de xarxa) una comunicació fiable de bits a través d'un medi físic de transmissió.

Entre les funcionalitats d'aquest nivell podem destacar:

- a) **Sincronització en l'àmbit de trama.** Agrupa els bits en trames, la mínima unitat d'informació amb què treballa el nivell d'enllaç, i estableix delimitadors d'origen i final perquè la trama sigui detectada correctament en la recepció.

b) Control de flux: l'estació emissora i la receptora s'han de posar d'acord en el ritme de transmissió de dades, per tal de no saturar les memòries del node receptor i perdre informació.

c) Control d'errors: els enllaços de dades no són perfectes i poden introduir errors. És necessari controlar que no es produeixin errors de transmissió, de manera que les dades en recepció es corresponguin amb les dades en origen.

d) Adreçament: si hi ha més d'una destinació possible d'un missatge és necessari identificar-la perfectament.

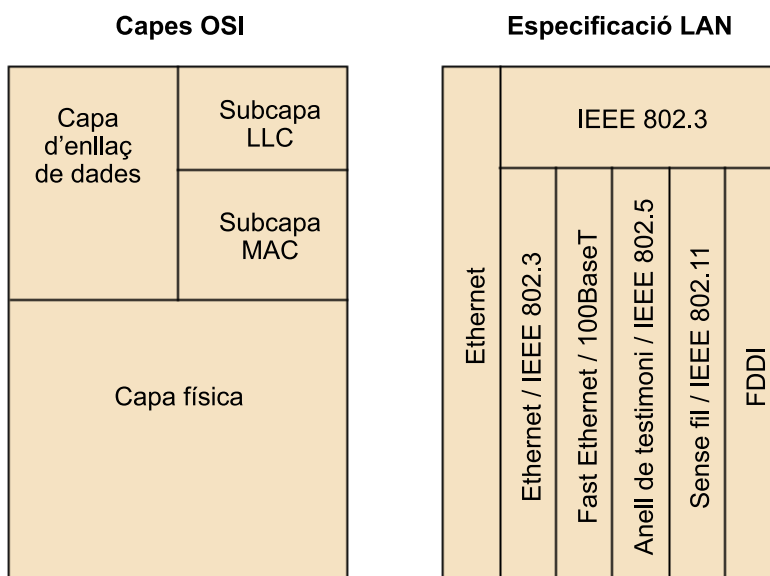
e) Gestió de l'enllaç: tot el procés d'inici, manteniment i acabament de la transmissió requereix un considerable esforç de gestió i coordinació. També es proporcionen els mitjans per a activar, mantenir i desactivar l'enllaç.

f) Control d'accés al medi: funcionalitat necessària en xarxes de difusió, en què tots els terminals comparteixen un medi físic únic (en banda base, sense multiplexar). Quan diversos equips accedeixen de manera simultània es poden generar conflictes, també anomenats *col·lisions*. Es fa necessari un control d'accés al medi en xarxes de difusió. L'IEEE divideix la capa d'enllaç en dues subcapes:

- La subcapa inferior MAC s'ocupa de resoldre el problema d'accés al medi.
- La subcapa superior LLC³⁸ compleix una funció equivalent a la capa d'enllaç en les línies punt a punt: és responsable de la identificació de la forma lògica dels diferents tipus de protocol i la seva encapsulació.

⁽³⁸⁾ LLC és la sigla de *logical link control*.

Figura 22



Exemples de protocols de la capa d'enllaç

Alguns exemples de protocols de la capa d'enllaç són: SDLC d'IBM, HDLC de l'ISO i el conjunt de protocols LAP (capa d'enllaç en ITU-T X.25).

Els protocols més representatius de la subcapa MAC, ja citats anteriorment, són els IEEE 802.3 (també conegut com a Ethernet), el 802.4 (bus de testimoni), el 802.5 (anell de testimoni) i l'ANSI X3T9.5/ISO 9314 (FDDI). El protocol de la subcapa LLC per a totes les xarxes locals de difusió és l'IEEE 802.2.

Els equips que podem trobar en aquest nivell són: targetes de xarxa Ethernet, interruptors Ethernet i d'anell de testimoni (LAN), interruptors de commutació de paquets de retransmissió de trama o ATM (WAN).

2.4.4. La capa de xarxa

L'objectiu funcional fonamental de la capa de xarxa és encaminar els paquets (unitat d'informació del nivell de xarxa) des d'un origen a una destinació a través dels nodes de la xarxa.

Per a aconseguir-ho la capa ha de conèixer la topologia de la xarxa, intentant evitar les connexions congestionades i gestionant qüestions com la ubicació dels ordinadors origen i destinació en subxarxes diferents. No obstant això, i com en les altres capes, la missió principal de la capa de xarxa és proporcionar serveis a la capa superior, el nivell de transport. Els serveis esmentats, en una visió resumida, són els següents:

a) Encaminament. La capa de xarxa ha de determinar com cal encaminar els paquets de l'origen a la destinació. Per a això utilitzarà una taula amb informació sobre les destinacions conegudes.

b) Determinació de ruta. Funcionalitat molt lligada a l'anterior. Elecció de la ruta millor entre les disponibles. La capa de xarxa ha de conèixer la topologia de la subxarxa en termes de certs paràmetres tècnics (nombre de salts, amplada de banda, etc.) per a poder triar el millor recorregut fins a la destinació.

c) Control de congestió. Si en un moment donat hi ha massa paquets presents a la subxarxa, ells mateixos s'obstrueixen mútuament, la qual cosa donarà lloc a un coll d'ampolla i a una degradació del rendiment. Per evitar la congestió el nivell de xarxa implementa una sèrie de mecanismes. El control de congestió i l'encaminament estan estretament relacionats.

d) Tractament de congestió. Els paquets descartats a causa de problemes de congestió en les cues dels encaminadors es notifiquen a l'origen mitjançant un missatge ICMP.

e) Fragmentació de paquets. Si una xarxa no admet paquets de les mateixes dimensions que la primera, el nivell de xarxa fragmenta els paquets per a superar aquesta situació.

f) **Interconnexió de xarxes (connexió de dues o més xarxes)**. Quan la font i la destinació es troben en xarxes diferents sorgiran una sèrie de problemes (encaminament, xarxes amb diferents protocols) que haurà de resoldre la capa de xarxa.

Exemples de protocols de la capa de xarxa

Alguns exemples de protocols utilitzats a la capa de xarxa són els protocols ITU-T X.25 i X.75 (passarel·les entre xarxes X.25), l'IP i el seu successor IPv6, el protocol d'encaminament OSPF o la capa de xarxa en ATM. Els equips que treballen en aquest nivell són els encaminadors.

2.4.5. La capa de transport

La funció principal del nivell de transport és acceptar les dades de les capes superiors (moltes vegades les aplicacions mateixes d'usuari), fragmentar-les, si és necessari, en unitats més petites, passar-les al nivell de xarxa, i garantir que arribin a la destinació de manera segura i econòmica, independentment de la xarxa o xarxes físiques que es trobin en ús.

El diàleg entre entitats de transport és d'extrem en extrem i no salt a salt com els de nivells inferiors. Ja que l'objectiu final de la xarxa de comunicació és possibilitar un diàleg directe entre sistemes finals, el nivell o capa de transport es podria considerar el cor de tota la jerarquia. Des del punt de vista de l'usuari que necessita connectar diversos equips remots, el servei de transport és el que resol el seu problema.

Les principals funcions de la capa de transport són:

- Establir, mantenir i acabar les connexions entre dos ordinadors centrals o entre un servidor i un ordinador central.
- Controlar el flux d'extrem a extrem entre dues estacions finals.
- Controlar la congestió produïda als encaminadors intermedis que formen part del recorregut entre l'origen i la destinació.
- Fragmentar la informació de la capa de sessió en segments més petits.
- Recompondre la informació en la destinació.
- Millorar la qualitat de servei subministrada per la capa de xarxa. Garanteix una transmissió fiable, sense errors, d'extrem a extrem, independent del tipus de xarxa.
- És responsable que les dades arribin ordenades, sense pèrdues, sense errors i sense duplicacions al destinatari.

- Multiplexar diverses connexions de transport sobre una mateixa connexió de xarxa, utilitzant un o més ports de sortida per a la mateixa comunicació.

Exemples de protocols de la capa de transport

Entre els protocols del nivell de transport podem destacar: TCP i UDP (TCP/IP), SPX (Netware), etc. No hi sol haver dispositius a la xarxa que treballin al nivell 4, exceptuant els terminals i servidors finals d'una xarxa. No obstant això, els encaminadors amb funcions de tallafocs també treballen en aquest nivell.

2.4.6. La capa de sessió

La capa de sessió és un concepte que apareix per primera vegada amb OSI. Es tracta, doncs, d'una innovació d'OSI.

Entre les seves funcions podem destacar:

- Administra l'intercanvi de dades, i assegura el lliurament correcte de la informació.
- S'encarrega d'establir, mantenir i acabar el diàleg entre els ordinadors centrals que s'estan comunicant. Això inclou l'establiment, la detecció i la sincronització dels dos ordinadors central (servei de connexió, sincronisme, etc.).
- Controlar l'ordre d'intervenció dels interlocutors en certs diàlegs, indicant qui ha d'emetre en cada instant.
- Millora el servei de la capa de transport: s'encarrega de la resincronització de la transferència, i permet als usuaris la tornada a un estat anterior després d'un problema (per exemple, per a recuperar una sessió després d'un reinici, tornant a un estat conegut, etc.).

Exemples de protocols de la capa de sessió

Com a exemples de protocols d'aquest nivell tenim: FTP, Telnet, SMTP, TFTP, RPC³⁹ (que és un mecanisme per a efectuar trucades a procediments remots), SNMP, etc.

⁽³⁹⁾RPC és la sigla de *remote procedure call*.

2.4.7. La capa de presentació

El principal objectiu de la capa de presentació és eliminar els problemes que poden sorgir en comunicar dades entre diferents arquitectures. Cada arquitectura d'ordinadors pot tenir la seva estructura pròpia de representació interna de les dades, i no han de ser necessàriament compatibles. El treball de la capa de presentació es concreta en una tasca de traducció, i assegura l'enteniment entre sistemes diferents mitjançant acords i conversions de dades.

Bàsicament, la capa de presentació rep dades de la capa d'aplicació i les codifica abans de la transmissió per a adaptar-les al mode de codificació propi del sistema de transmissió. En la destinació, les descodifica segons el sistema de representació que s'utilitzi en aquest extrem. Entre les seves funcionalitats podem destacar:

a) S'ocupa de la sintaxi i de la semàntica de la informació que es pretén transmetre. Compatibilitza arquitectures amb estructura de dades diferents.

b) Descriu el format de les dades que s'intercanviaran entre les aplicacions:

- Comprensió de dades (reducció de mida): elimina aquells components superflus dels missatges per transmetre, que després poden ser afegits directament en l'extrem receptor.
- Xifratge de la informació (privacitat): emmascara la informació transmesa de manera que un hipotètic escolta del sistema no pugui recuperar el missatge origen sense conèixer el codi de desxifratge.
- Estàndards per a l'intercanvi de veu, vídeo.

Exemples de protocols de la capa de presentació

En protocols d'aquest nivell podem destacar: RFS, SMB, NCP, NFS, etc.

2.4.8. La capa d'aplicació

És la capa superior del model de referència OSI, que defineix la interfície i els protocols que utilitzaran els processos dels usuaris o aplicacions. En aquesta capa se situen tant les aplicacions pròpies de l'usuari com una sèrie d'utilitats estàndard d'ús tan comú en el món informàtic que es va decidir elaborar normes per al desenvolupament de solucions universals (accés al terminal, accés als servidors i ordinadors centrals remots, etc.).

La funció d'aquest nivell consisteix a proporcionar:

- Procediments precisos que permetin als usuaris executar les instruccions relatives a les seves aplicacions pròpies.
- Un mitjà perquè els processos de les aplicacions accedeixin a l'entorn OSI, utilitzant els serveis que ofereix la capa de presentació per a les necessitats de comunicació.
- Interacció entre aplicacions i intercanvi de dades.

Exemples de protocols de la capa d'aplicació

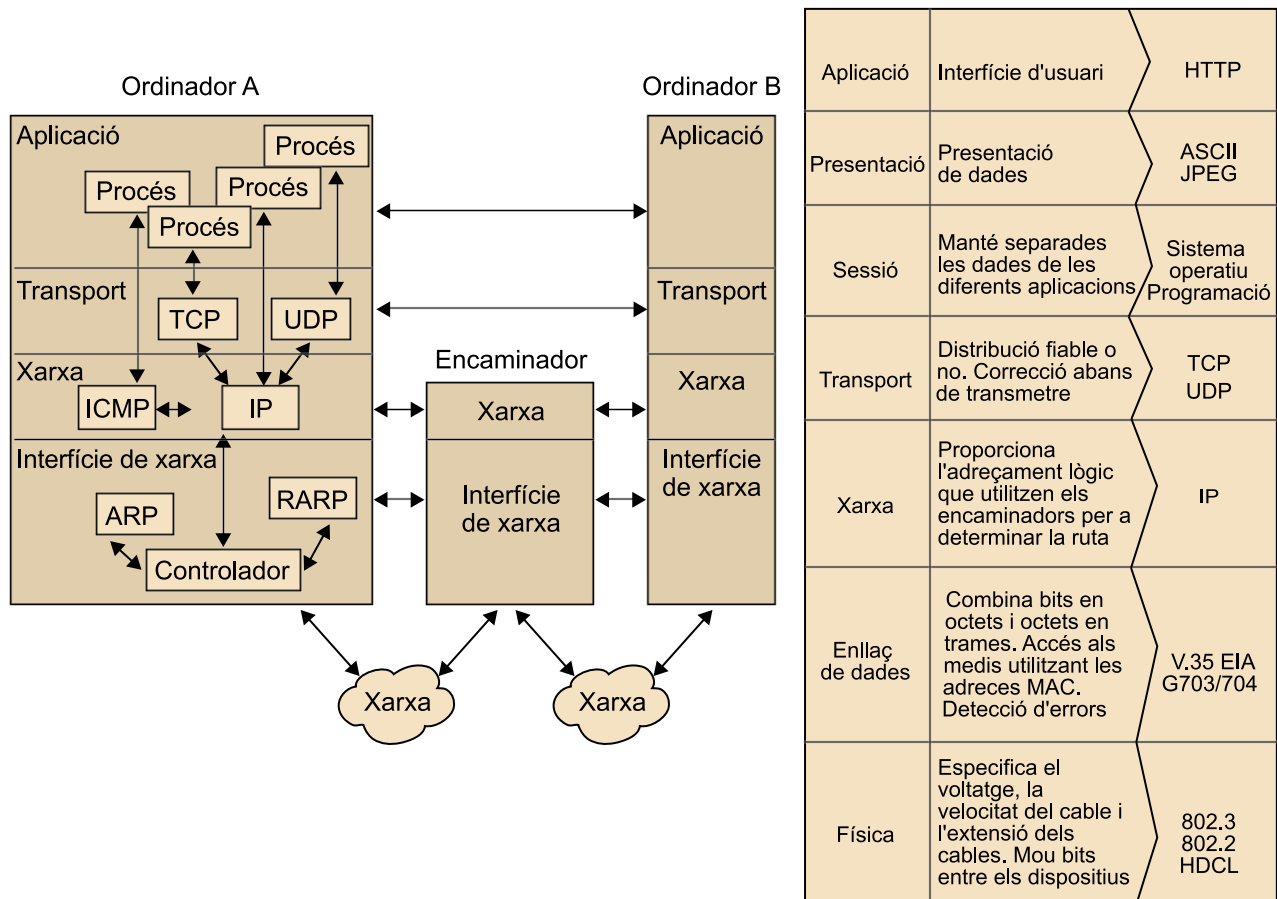
Dues normes molt conegudes d'aquest nivell són: FTAM (transferència de fitxers), X.400 (correu electrònic) i X.500 (directori) del CCITT; d'altres són les normes ISO 8649, 8650 i 8571.

Els equips que trobem en aquest nivell són els terminals (clients i servidors) i les passarel·les d'aplicació o servidors intermediaris.

2.5. Model TCP/IP

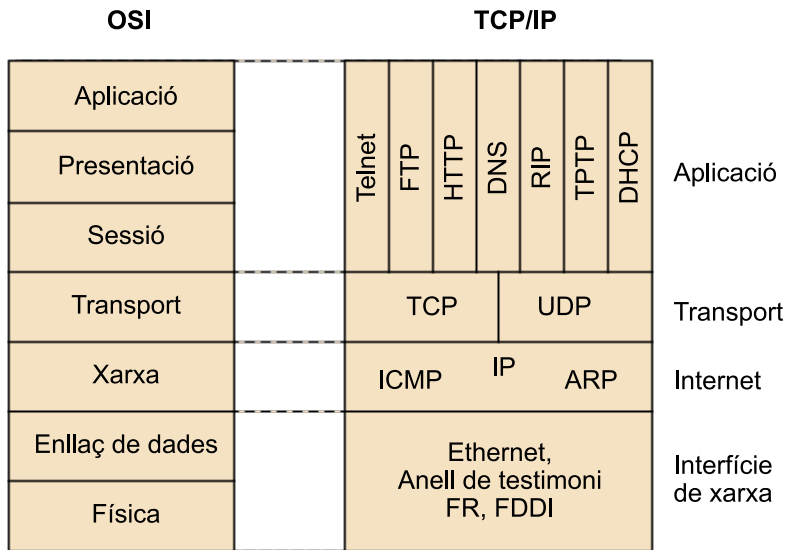
En el model TCP/IP es poden distingir quatre capes: la capa d'interfície de xarxa, la capa de xarxa o Internet, la capa de transport i la capa d'aplicació.

Figura 23



La comparació dels models arquitectònics d'OSI i TCP/IP és la següent:

Figura 24

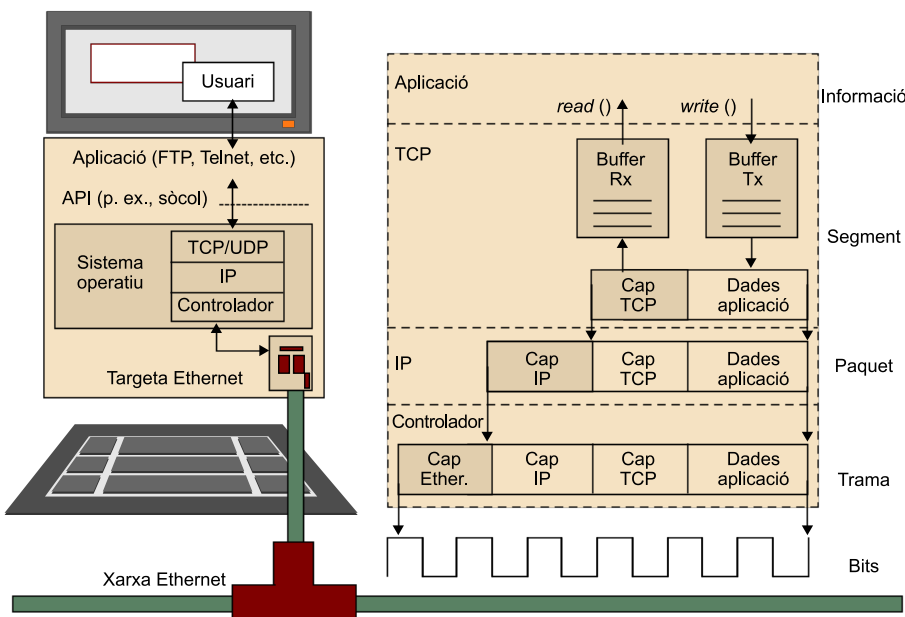


El model OSI té set capes, mentre que el model TCP/IP només en té quatre. Les capes de transport i d'Internet coincideixen plenament amb els nivells 3 i 4 de la torre OSI. La capa d'aplicació engloba els nivells de 5, 6 i 7 d'OSI (sessió, representació i aplicació). La capa d'interfície de xarxa inclou els nivells físic i d'enllaç de la torre OSI.

2.5.1. Encapsulació de la informació en la torre TCP/IP

El funcionament del model OSI amb l'encapsulació de les dades es pot observar en la figura 25.

Figura 25



Les dades d'informació del nivell d'aplicació són encapsulades a la capa de transport, on s'afegeix la capçalera del protocol TCP, i això conforma la unitat d'informació denominada **segment**. Quan el segment és enviat al nivell de xarxa, és encapsulat a dintre de la capçalera del protocol IP, on s'indiquen les adreces IP de la unitat d'informació, anomenada **paquet** en aquest nivell. Aquest paquet és enviat a la tarja de xarxa i allà és encapsulat segons les normes del protocol del nivell d'enllaç. Normalment s'afegeix una capçalera del protocol d'enllaç al començament del paquet. En molts protocols també s'afegeix una cua de dades que serveix per a la detecció d'errors al final del paquet. La unitat d'informació aquí rep el nom de **trama**. Finalment les dades són enviades pel medi de transmissió en forma d'impulsos electromagnètics o bits.

2.5.2. La capa d'interfície de xarxa

A Internet, per sota del nivell de xarxa hi ha el que Tanenbaum (2003) denomina “un gran buit”.

Aquesta capa és una espècie de “caixa negra” que engloba les funcions de la capa física i la capa d'enllaç del model OSI. El model TCP/IP només especifica que aquesta capa ha de ser capaç de connectar l'ordinador central a la xarxa per mitjà d'algun protocol que permeti enviar paquets IP.

Quan sorgeix una nova tecnologia de xarxa, ha d'especificar de quina manera es poden enviar paquets IP sobre la nova tecnologia.

Els dos primers protocols dissenyats per a portar paquets IP van ser SLIP⁴⁰ i, sobretot, PPP⁴¹. Aquests protocols també es poden usar per a les connexions entre nodes sobre línies dedicades en subxarxes Internet.

2.5.3. La capa de xarxa (Internet)

Aquesta capa és l'eix de la maquinària que manté unida la Xarxa. Les seves funcions encaixen completament en l'especificació OSI, això és, principalment encaminament i control de congestió. Com és sabut, Internet va sorgir a partir d'un projecte del Departament de Defensa dels EUA, per la qual cosa la resistència a interrupcions en línies de la subxarxa era un dels principals requisits del disseny. Aquesta és la principal raó que la capa d'Internet proporcioní únicament un servei de commutació de paquets no orientat a connexió.

Lectura recomanada

Andrew S. Tanenbaum
(2003). *Redes de computadores*
(4a. ed.). Pearson.

⁽⁴⁰⁾ SLIP és la sigla de *serial line IP*.

⁽⁴¹⁾ PPP és la sigla de *point to point protocol*.

El principal protocol de la capa de xarxa a Internet és IP. Les especificacions d'IP estableixen que és possible que paquets d'una mateixa conversa arribin a la seva destinació en un ordre diferent de com van ser dipositats a la xarxa. Això rep el nom de *transmissió en mode datagrama*.

En aquest cas, la reordenació és responsabilitat de les capes superiors (aquest paper l'assumeix l'eficaz protocol de nivell de transport d'Internet, TCP).

Respecte a l'encaminament, IP defineix un esquema d'adreces jeràrquic, per al reconeixement de xarxes i subxarxes.

La versió original d'IP va ser IPv4. Les seves mancances amb vista a l'explosiu creixement de la Xarxa han motivat la definició d'un successor IPv6, que s'està implantant gradualment.

Els protocols de nivell 3 es divideixen en protocols encaminats⁴² i d'encaminament⁴³:

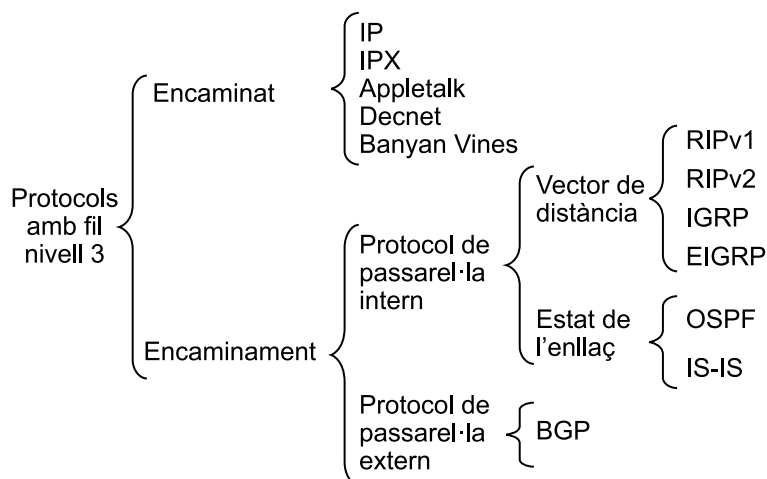
⁽⁴²⁾En anglès, *routed*.

⁽⁴³⁾En anglès, *routing*.

1) **Protocols encaminats:** són els protocols que porten informació d'usuari des d'un origen a una destinació.

2) **Protocols d'encaminament:** són els protocols de control que utilitzen els nodes de la xarxa per a conèixer les rutes cap a les destinacions i escollir les millors.

Figura 26



El nivell de xarxa de TCP/IP també defineix dos protocols auxiliars que ajuden IP a dur a terme les seves funcions: ARP (manté la correspondència entre adreces lògiques i físiques) i ICMP (protocol de control de missatges i errors).

2.5.4. La capa de transport

Aquesta capa també encaixa perfectament en la definició del nivell de transport del model de referència OSI.

El seu paper és el d'oferir a les aplicacions del nivell superior un canal de comunicacions d'extrem a extrem⁴⁴ (anomenat *sòcol* en UNIX) en el nivell de transport. El nivell de transport defineix un sistema de multiplexació i desmultiplexació d'aplicacions, de manera que cada aplicació de xarxa té un número associat anomenat *port* que permet al protocol de transport identificar-la.

⁽⁴⁴⁾Canal anomenat *sòcol* en UNIX.

El nivell de transport d'Internet és organitzat en dos protocols:

1) TCP⁴⁵, que ofereix un servei fiable orientat a connexió, amb el qual els paquets (anomenats *segments* en aquest nivell TCP/IP) arriben ordenats i sense errors. Efectua retransmissions, control de flux i de congestió d'extrem a extrem (per a aplicacions de dades).

⁽⁴⁵⁾TCP és la sigla de *transmission control protocol*.

2) UDP⁴⁶, que ofereix un servei de datagrames no orientat a connexió i no fiable. UDP no du a terme retransmissió de paquets, ni control de flux ni de congestió, tasques que queden encomanades als serveis de nivell superior que usin aquest protocol. Només detecta errors d'extrem a extrem. Les aplicacions típiques que utilitzen UDP són aquelles en les quals la velocitat de transmissió interessa més que la precisió en el lliurament, com la tramesa de veu o vídeo (per a aplicacions en temps real).

⁽⁴⁶⁾UDP és la sigla de *user datagram protocol*.

2.5.5. La capa d'aplicació

El nivell d'aplicació és el que entra en contacte amb els usuaris finals. Té la particularitat que inclou qualsevol funció o servei que s'utilitzi a la xarxa i que no se subministri en els nivells anteriors.

En el model TCP/IP, aquesta capa aglutina les funcions de les capes de sessió, presentació i aplicació del model OSI. S'ha constatat empíricament que les capes de sessió i presentació són de poca utilitat, a causa que el seu contingut és escàs i, a més, redundant, per la qual cosa l'aproximació adoptada pel model TCP/IP sembla més encertada.

Així, es pot resumir la funcionalitat de la capa d'aplicació en el següent:

1) Un conjunt de serveis de suport necessaris per al funcionament de les aplicacions:

- Compressió de la informació transmesa: ZIP, RAR
- Seguretat i confidencialitat: SSL
- Gestió de xarxa: SNMP
- Gestió i conversió de noms de domini: DNS

2) Les aplicacions, pròpiament les esmentades que ofereixen serveis als usuaris.

En podem destacar:

- Correu electrònic (POP3, SMTP, IMAP)
- Transferència de fitxers (FTP i SFTP)
- World Wide Web (HTTP i HTTPS)
- Terminal remot (Telnet)

2.6. El model OSI comparat amb el model TCP/IP

El model OSI, d'orientació més acadèmica, és més coherent i modular i està menys condicionat per cap protocol en particular. És per això que s'utilitza principalment com a model de referència per a descriure altres tipus d'arquitectures, com la TCP/IP (el model TCP/IP mai no es fa servir per a descriure altres arquitectures que no siguin la seva pròpia). El model OSI fa una distinció molt clara entre serveis, interfícies i protocols, conceptes que sovint es confonen en el model TCP/IP.

No obstant això, el model OSI mai no ha passat de ser un bonic desenvolupament teòric, malgrat que la majoria dels grans fabricants d'ordinadors i companyies telefòniques en van impulsar la utilització oferint productes i serveis basats en aquest. Les raons principals que van motivar aquest fenomen es resumeixen en el següent:

- OSI va aparèixer tard. Com tot estàndard, es van trigar anys a definir una arquitectura de capes amb funcionalitats i serveis perfectament definits. Aquest retard va motivar que OSI fos avançat per TCP/IP, el qual en aquella època ja es feia servir profusament.
- OSI, en inspirar-se en SNA d'IBM, que és una arquitectura complexa, és molt complicat i moltes vegades repeteix en diferents capes les mateixes funcions. El naixement de TCP/IP fou a la inversa: primer es van especificar els protocols, i després es va definir el model com una simple descripció dels protocols ja existents. Per aquest motiu el model TCP/IP és més simple que l'OSI.
- Els productes comercials que es van basar en OSI eren dolents i cars. La poca demanda obligava a les empreses desenvolupadores a posar uns alts preus a fi de recuperar les seves altíssimes inversions. En contrast, TCP/IP va ser ràpidament incorporat al UNIX de Berkeley, on funcionava bastant bé, i tot això a un preu sensiblement menor: era gratuït!

- Mentre que TCP/IP era vist com a part de UNIX, és a dir, una cosa que realment funcionava i hi havia al marge de tota sospita de parcialitat, OSI era considerat un invent de l'Administració per a controlar les telecomunicacions (un esguerro politicoburocràtic).

És per tot això que TCP/IP es va convertir en el líder mundial absolut en interconnexió de xarxes. No obstant això, TCP/IP tampoc no es deslliurà de la crítica. D'una banda, no distingeix conceptes tan importants com servei, interfície i protocol. En segon lloc, el model TCP/IP no és cap model, és a dir, resulta bastant inútil utilitzar-lo com a esquema de referència en l'estudi d'altres architectures. En tercer lloc, hi ha la capa ordinador central-xarxa, que en el model TCP/IP és més aviat una interfície que una capa, ja que l'única cosa que se n'especifica és que ha de ser capaç de transmetre paquets IP.

Avui dia la difusió de TCP/IP per tot Europa és completa, mentre que els serveis basats en protocols OSI pràcticament han desaparegut.

3. Breu història de les comunicacions

La dècada dels seixanta va veure l'aparició dels primers ordinadors comercials. Eren grans, cars i poc potents. Només organismes oficials, grans empreses o universitats en podien comprar, i el que és més normal és que només en comprassin un (o alguns, però no un per a cada usuari, com avui estem acostumats a veure). Per això, aquests ordinadors portaven sistemes operatius multitasca i multiusuari, perquè diferents usuaris, fent diferents feines, els poguessin utilitzar simultàniament. L'accés a aquests ordinadors es feia mitjançant terminals sense cap capacitat de procés, passius.

No va trigar gaire a aparèixer la necessitat de poder allunyar els terminals de la unitat central per a connectar-se, per exemple, des de casa o des d'una delegació a l'ordinador central.

Per a poder fer aquest accés remot, la primera solució que van aportar els enginyers informàtics de l'època va ser utilitzar la xarxa telefònica que, per la seva ubicuïtat, els estalviava generar cap infraestructura nova. Només calia un aparell que adaptés els bits a la xarxa (recordeu que la xarxa telefònica només deixa passar sons entre uns marges de freqüència). Aquests aparells són els mòdems.

Els primers mòdems eren de 300 bps i generaven dos tons diferents: un per a l'1 lògic i un altre per al 0. Actualment, van a 56.000 bps, que és el màxim que permet la xarxa telefònica convencional actual. Els mòdems no solament servien per a poder allunyar els terminals passius dels ordinadors centrals; també permetien d'interconnectar ordinadors entre si, de manera que des dels terminals d'un es podia accedir a l'altre i viceversa.

La tecnologia de commutació de circuits es va desenvolupar originalment per a les comunicacions telefòniques i una de les seves característiques fonamentals era l'ocupació en exclusiva dels recursos mentre durava la connexió, cosa que (com ja hem vist) justificava la tarifació per temps. Però les comunicacions informàtiques no són curtes, intenses i esporàdiques, com les de veu. En connectar un terminal a un ordinador central mitjançant dos mòdems, no es passen dades tota l'estona que dura la connexió: hi pot haver llargs períodes de temps en què no passi cap bit i estones en què hi hagi un intercanvi de dades intens, tot i que a una velocitat de transmissió molt més baixa que la que es pot mantenir entre el terminal i l'ordinador connectats directament. Les factures telefòniques van començar a ser astronòmiques, i desproporcionades, respecte de l'ús real de la xarxa.



Figura 27. Mòdems dels anys vuitanta

Petita història de les comunicacions I

Internet és, com tantes altres tecnologies innovadores, un invent militar. Va néixer de l'interès de l'exèrcit nord-americà en els anys seixanta per aconseguir comunicacions fiables i descentralitzades. És a dir, per evitar que un míssil ben dirigit pogués fer saltar pels aires un centre vital de comunicacions. Es poden establir quatre períodes clau en la història d'Internet.

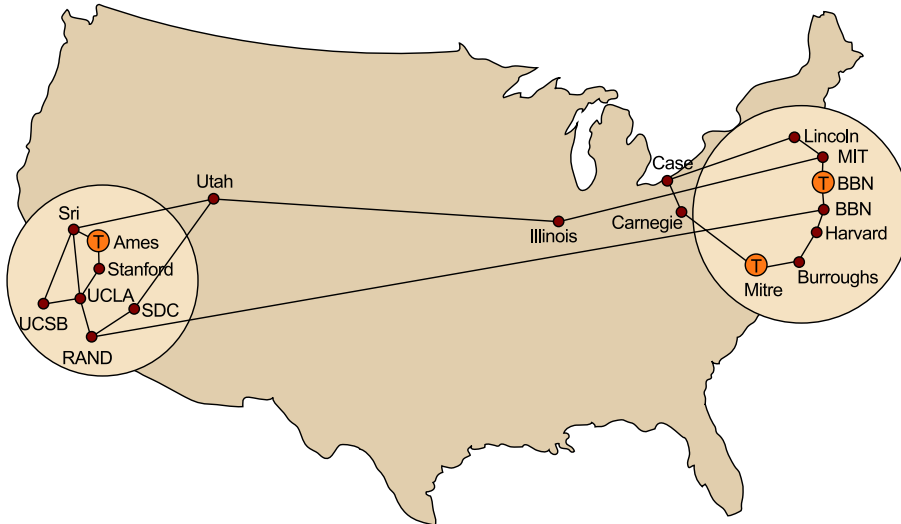
Primer període: 1957-1970. Naixement d'Internet

- 1945: publicació de la primera referència d'una xarxa electrònica similar a Internet, Memex, citada EN l'article "As We May Think", per Vannevar Bush (director de la nord-americana Oficina d'Investigació Científica i Desenvolupament).
- 1957: durant la Guerra Freda la Unió Soviètica llança l'Sputnik, el primer satèl·lit artificial de comunicació. En resposta a aquest fet, els Estats Units creen l'ARPA (Agència de Projectes d'Investigació Avançada), al si del Departament de Defensa dels Estats Units.
- 1961: Leonard Kleinrock (MIT) publica el primer article sobre la teoria de commutació de paquets.
- 1962: Licklider (MIT) llança la idea de la "Galactic Network", una xarxa interconnectada globalment a través de la qual cada un podria accedir des de qualsevol lloc a dades i programes. Licklider va ser el principal responsable del programa d'investigació en ordinadors en ARPA, l'agència d'investigació avançada del Pentàgon.
- 1964: Paul Baran (RAND Corporation) fa els seus estudis sobre "xarxes de comunicació distribuïdes o descentralitzades". També promou l'ús de xarxes de commutació de paquets de dades (en anglès, *packet switching networks*).
- 1961-1965: la idea de xarxa de paquets descentralitzada havia estat treballada en paral·lel per tres grups d'investigació americans, sense que els investigadors haguessin conegut el treball dels altres:
 - 1) MIT (1961-1967): Licklider, Roberts, Kleinrock.
 - 2) RAND (1962-1965): Paul Baran.
 - 3) NPL (1964-1967): Donald Davies i Roger Scantlebury.
 El terme *paquet* (en anglès, *packet*) va ser adoptat a partir del treball de l'NPL.
- 1965: el Ministeri de Defensa nord-americà (ARPA) inicia un projecte d'interconnexió de computadors, que es va dir *ARPANet*, i que va ser l'antecessor del que després es diria *Internet*.
- 1966: es desenvolupa el concepte de xarxa d'ordinadors, que s'anomenaria *ARPANet*. La xarxa ARPANet podia interconnectar els diferents ordinadors dels investigadors que s'anessin connectant a aquesta xarxa, de manera que va néixer així la xarxa troncal.
- 1967: la nova xarxa anomenada *ARPANet* rep el tret de sortida. Un any més tard es dissenyen els primers programes i el primer maquinari específic per a xarxes.
- 1969: hi ha quatre centres interconnectats, a través dels seus IMP (Internet embrionària). UCLA (Los Angeles) és seleccionada per a ser el primer node d'ARPANet. El centre d'investigació de Stanford (SRI) va proporcionar un segon node. El tercer node era a la Universitat de Califòrnia, a Santa Bàrbara, i el quart node a la Universitat de Utah. Aquests quatre nodes van constituir la xarxa original d'ARPANet.

Aviat les grans empreses van pressionar les companyies telefòniques del moment perquè desenvolupessin xarxes pensades per a transportar dades, el sistema de tarifació de les quals s'ajustés al trànsit de dades real i permetés més velocitat que els minso 300 o 1.200 bps de l'època, que s'assolien utilitzant la xarxa telefònica. La resposta van ser les xarxes de commutació de paquets. L'enviament de dades no s'ha de fer necessàriament en temps real (les transmissions de veu, sí). Per tant, no cal establir el camí entre els dos punts abans de començar la transmissió i mantenir-lo mentre dura l'intercanvi de dades. En lloc d'això, s'empaqueten els bits que s'han de transmetre i es donen a la

central més propera perquè els envii quan pugui a la següent, i així successivament fins que arribin a la destinació. Si quan un paquet arriba a una central tots els enllaços amb la següent estan ocupats, no passa res: el fa esperar posant-lo en una cua per a enviar-lo quan hi hagi un enllaç disponible.

Figura 28. Nodes a ARPANet el setembre de 1971



El CCITT és un organisme internacional patrocinat per les operadores de telefonia, dedicat a tasques de normalització en l'àmbit de les telecomunicacions. L'1 de març de 1993 es va passar a dir ITU-T⁴⁷.

⁽⁴⁷⁾ITU-T és la sigla d'*International Telecommunication Union Standardisation Sector*.

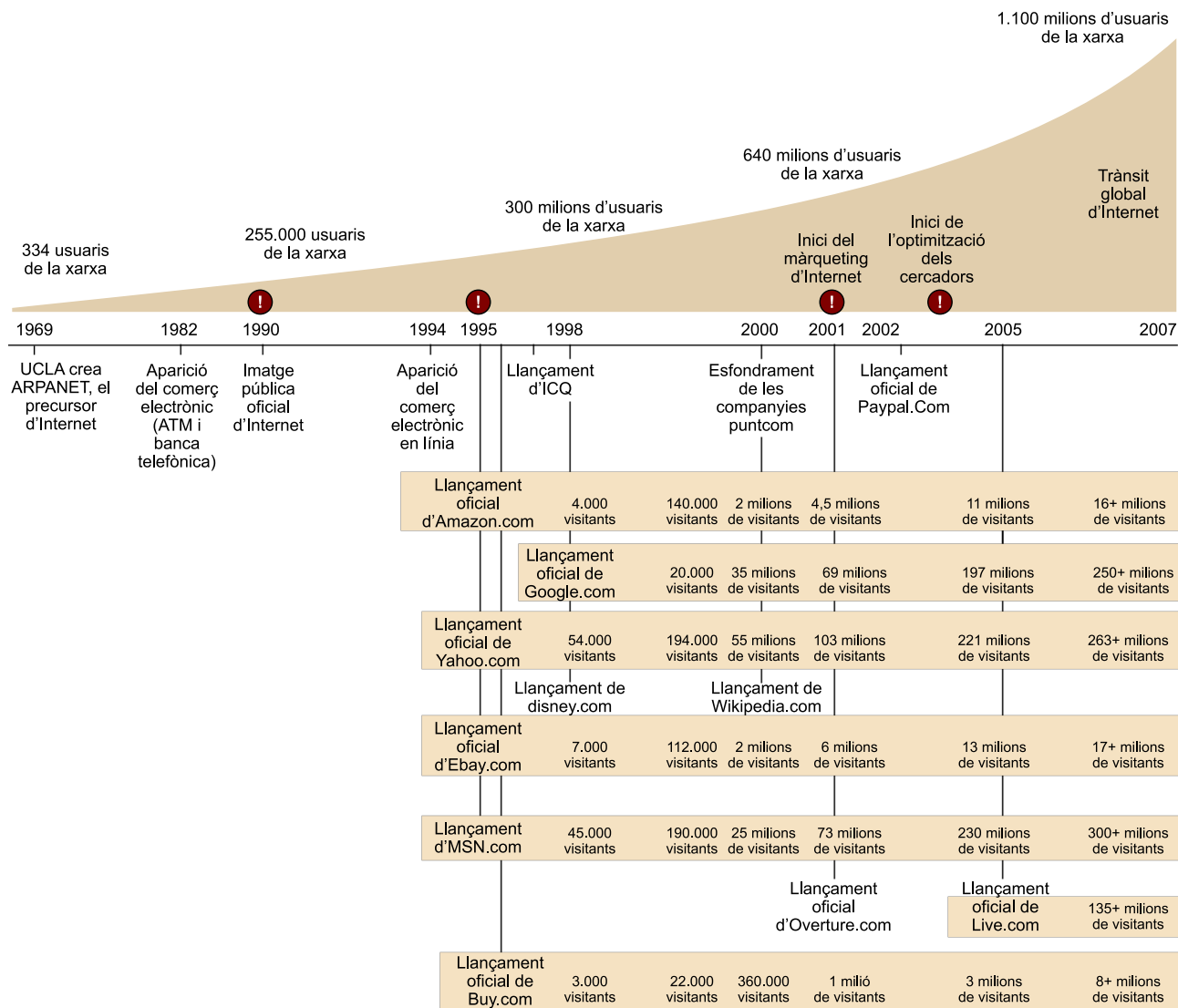
La transmissió per paquets té l'avantatge que només ocupa els recursos quan realment es fan servir, no tota l'estona. Però, com a contrapartida, s'ha de suportar el retard que hi pugui haver entre que els paquets surten de l'origen i arriben a la seva destinació, el qual és variable, perquè les esperes a les cues són aleatòries, i depenen de l'estat de la xarxa. Però, com hem dit, això, en comunicació de dades, és fins a cert punt tolerable. Pel que fa a la qüestió econòmica, no té sentit que es cobri per temps de connexió: en les xarxes de dades es paga per bits transmesos.

Hi ha un altre perill: els paquets es poden perdre. Cal tenir present que les cues són limitades i, si arriba un paquet quan una ja és plena, no es podrà guardar i es perdrà. Cal preveure mecanismes que evitin aquestes pèrdues i regulin el flux d'informació entre els nodes de commutació.

Les companyies telefòniques van desenvolupar xarxes d'aquest tipus, i el CCITT va emetre un estàndard, l'X.25, que a la llarga és el que ha seguit tot-hom fins fa poc.

Petita història de les comunicacions II

Figura 29



Segon període: 1970-1990. De l'exèrcit a la universitat

- Anys setanta: durant aquest període, aquesta xarxa va ser d'accés restringit als investigadors i a les empreses privades que participaven en projectes finançats per l'Administració.
- 1970: el NWG (*network working group*), liderat per S. Crocker, va acabar el protocol d'ordinador central a ordinador central inicial per a ARPANet, anomenat NPC (*network control protocol*, en català, 'protocol de control de xarxa'). Kevin MacKenzie s'inventa la primera emoticona: :-). Vinton Cerf escriu per primera vegada la paraula *Internet*. És considerat el pare de la Xarxa. Més tard va dissenyar el protocol TCP/IP, que actualment regeix les comunicacions per Internet.
- 1971: Ray Tomlison (BBN) crea els protocols bàsics del correu electrònic (*e-mail*), incloent-hi la convenció de la rova per a separar el nom de la persona de l'identificador de l'ordinador.
- 1972: es presenta públicament ARPANet en la International Computer Communication Conference. Diversos investigadors del MIT van donar a llum el germen del que seria el sistema de transferència d'arxius FTP i Telnet. El Sistema d'Agències d'Informació de Defensa crea l'IANA o Autoritat d'Assignació de Números d'Internet, responsable d'assignar una adreça única a cada computador connectat a Internet.
- 1973: Vint Cerf i Bob Kahn especifiquen la primera versió del Programa de Control de Transmissió (TCP), que després va ser desenvolupat fins a convertir-se en el Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP), els protocols que actualment

permeten el funcionament d'Internet. Berkeley va desenvolupar el BSD UNIX. ARPA va donar una còpia de TCP/IP a Berkeley i es va incorporar aquest programari a la versió UNIX. Neix la possibilitat de fer un FTP.

- 1979: neix Usenet, creada per tres estudiants, Tom Truscott, Jim Ellis i Steve Bellovin. Usenet és un servei de grups de notícies, les populars *news*.
- 1980: apareixen les primeres aplicacions TCP/IP. Internet ja té 212 servidors.
- 1981: l'any 1981, IBM llança el primer PC, amb el sistema operatiu d'una PIME anomenada Microsoft.
- 1982: ARPANet adopta el protocol TCP/IP com a estàndard. Es crea l'EUNet (European Unix Network). L'EUNet, connectada a ARPANet, es va crear el 1982 per a proporcionar serveis de correu electrònic i serveis Usenet a diverses organitzacions usuàries als Països Baixos, Dinamarca, Suècia i Anglaterra.
- 1983: és en aquest any quan es considera que va néixer realment Internet, en separar-se la part militar i la civil de la Xarxa. Fins a l'1 de gener de 1983 la naixent Internet va estar funcionant amb un antecessor dels protocols TCP/IP; aquell dia els ja milers d'ordinadors connectats es van canviar al nou sistema. Internet ja disposa de 562 servidors (ordinadors interconnectats). El mateix any es va crear el sistema de noms de dominis (.com, .edu, etc., més les sigles dels països), que pràcticament s'ha mantingut fins ara.
- 1984: l'ordinador passa a ser a l'abast de la gent, i la seva implantació s'accelera quan es presenta el Macintosh. El nombre de servidors connectats a la Xarxa havia superat ja els mil. L'any següent es forjava Well, la primera comunitat comercial d'usuaris. Es crea a Winsconsin el primer servidor de noms (en anglès, *name server*), amb el qual no es va necessitar més que conèixer el camí (en anglès, *path*) de localització d'un computador, precursor del servei DNS (*domain name server*) d'Internet.
- 1985: entra en funcionament el DNS, un mètode per a resoldre noms d'adreces numèriques. El primer domini s'atorga el 15 de març a symbolics.com. Internet té ja 1.961 servidors i els suffixos .com, .net i .org afegits. L'abril apareixen els primers dominis amb lletra, que van ser: acmu.edu, purdue.edu, rice.edu i ucla.edu, tots en actiu encara, sens dubte, i tots universitaris, també sens dubte. El juny del mateix any va aparèixer el primer domini governamental, css.gov, i el juliol, mitre.org. El primer domini d'un país va ser el juliol d'aquell mateix any per a la Gran Bretanya: co.uk. A Espanya els ordinadors de diferents universitats es connectaven entre si i amb el CERN (Centre Europeu de Física de Partícules). El Ministeri d'Educació i Ciència, per mitjà de la Secretaria d'Universitats, va elaborar un pla per a interconnectar els centres de càlcul de les universitats. Així mateix, un grup d'experts de les universitats, els centres de càlcul, els organismes públics d'investigació i Telefònica, sota la coordinació de Fundesco, va fer un informe que s'anomena *Projecte IRIS* (Interconnexió de Recursos Informàtics).
- 1987: neix la primera versió de Windows. Hi ha més de 10.000 servidors a tot el món.
- 1988: es produeix el primer gran atac víric d'Internet, quan el "Cuc de Morris" fa caure 6.000 dels 60.000 ordinadors que llavors la formaven. Creat per l'estudiant predoctoral Robert T. Morris com a experiment, el cuc usava un defecte del sistema operatiu UNIX per a reproduir-se fins a bloquejar l'ordinador. Arran del "Cuc de Morris" es crea el CERT⁴⁸ (Computer Emergency Response Team). Jarkko Oikarinen, un jove finlandès, va decidir modificar la instrucció *talk* de UNIX per a permetre que diverses persones poguessin xerrar de manera simultània. Així neix el xat, l'IRC (*Internet relay chat*), que permet que es pugui conversar en línia en la Xarxa. El 1988 també neix el programa IRIS dins del Pla Nacional d'Investigacions i Desenvolupament Tecnològic per a donar connectivitat a científics i a investigadors. El finançament i supervisió d'aquesta xarxa l'efectuaria la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia i està gestionada i dirigida per Fundesco.
- 1989: neix RIPE per a interconnectar les xarxes europees. El nombre de servidors connectats a Internet assoleix ja els 100.000. Aquest mateix any, es va inaugurar també la primera connexió d'un sistema de correu electrònic comercial a Internet (MCI i CompuServe). Fins aquell moment ningú no s'havia plantejat mai la hipòtesi que a Internet les coses poguessin tenir un ordre, crear un directori. Les adreces eren tan poques que se suposava que tothom les coneixia. Per aquest motiu, es crea el primer catàleg (un programa denominat *Archie*). Archie va tenir tal èxit que va col·lapsar el trànsit als Estats Units i Canadà tan aviat es va saber de la seva existència. Per aquest motiu la Universitat MacGill de Montreal va obligar el seu autor a tancar-lo. Per sort ho va

fer després que Archie ja estigués replicat en altres ordinadors. Archie va ser el precedent de Gopher i Veronica i d'alguna remota manera el primer intent de directori de recursos d'Internet.

⁽⁴⁸⁾*CERT* és un equip de resposta d'emergència d'ordinadors que manté dades sobre totes les incidències en xarxa i sobre les principals amenaces.

Quan va començar a ser habitual disposar de més d'un ordinador a la mateixa instal·lació, va aparèixer la necessitat d'interconnectar-los per a poder compartir els diferents recursos: dispositius cars, com ara impressores de qualitat, un disc dur que emmagatzemés les dades de l'empresa, un equip de cinta per a fer còpies de seguretat, etc.

El disseny de les xarxes d'àrea local va seguir camins completament diferents dels que es van seguir per a les xarxes de gran abast. A les xarxes d'àrea local, es necessita, habitualment, establir comunicacions "de molts a un" i "d'un a molts", cosa difícil d'aconseguir amb les xarxes de commutació, pensades per a interconnectar dues estacions. Per a aquesta mena de xarxes és més adequada la difusió amb medi compartit, en què els paquets que surten d'una estació arriben a tota la resta simultàniament. A la recepció, les estacions els accepten o ignoren segons si en són destinatàries o no.

Es parla de difusió perquè els paquets es difonen pertot arreu, i de medi compartit perquè aquesta difusió es fa sobre un medi comú que comparteixen les estacions.

De la dècada dels seixanta també daten els primers estàndards d'arquitectures de protocols. Cal tenir present que l'intercanvi d'informació entre ordinadors té tot un seguit d'implícacions, entre les quals hi ha les següents:

- Aspectes elèctrics: els cables, els connectors, els senyals, etc.
- La manera d'agrupar els bits per a formar paquets i la de controlar que no es produeixin errors de transmissió.
- La identificació dels ordinadors dins de la xarxa i la manera d'aconseguir que la informació que qualsevol ordinador genera arribi a qui es pretén que ho faci.

Atacar tots aquests aspectes d'una manera global no és viable: massa coses i massa diferents entre si. Per això, ja des del principi, es van desenvolupar models estructurats en nivells: a cada nivell es duu a terme una tasca i la cooperació de tots els nivells proporciona la connectivitat volguda pels usuaris.

Cal tenir present que, a l'època que ens ocupa, la informàtica estava en mans de molt pocs fabricants i imperava la filosofia del servei integral: cada fabricant ho proporcionava tot (ordinadors, cables, perifèrics, sistema operatiu i programari). Per tant, quan una empresa es volia informatitzar, triava una marca i hi quedava lligada per a tota la vida.

A la dècada dels setanta, el panorama va canviar radicalment, sobretot, a causa de tres esdeveniments:

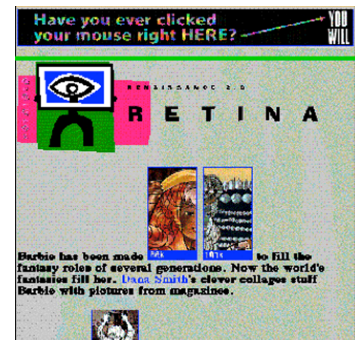
- 1) La proposta del protocol Ethernet per a xarxes locals.
- 2) L'aparició del sistema operatiu UNIX, no lligat a cap marca comercial, compatible amb totes les plataformes de maquinari que hi havia.
- 3) La invenció dels protocols TCP/IP, embrió de l'actual Internet.

S'havia aplanat el camí per a l'aparició dels sistemes oberts: no calia lligar-se a cap marca per a tenir-ho tot. El maquinari podia ser d'un proveïdor, el sistema operatiu d'un altre, les aplicacions d'un altre i els protocols, públics.

Petita història de les comunicacions III

Terçer període: 1990-1995. Expansió fora dels àmbits militars i universitaris

- 1990: neix el primer proveïdor d'accés a Internet comercial, i l'EFF (Electronic Frontiers Foundation), una ONG de defensa de ciberdrets. La Xarxa té ja centenars de milers de servidors (313.000 servidors). Aquest any també apareix Windows 3.0. A Espanya Fundesco va canviar el nom de *Programa IRIS* per REDIRIS i es connecta a la "columna vertebral" (*backbone*) d'Internet (NSFNET), al costat d'Argentina, el Brasil, Xile, l'Índia, Suïssa, Àustria, Irlanda i Corea del Sud.
- 1991: Tim Berners-Lee, investigador en el centre europeu CERN de Suïssa, va elaborar la seva proposta d'un sistema d'hipertext compartit; era el primer esbós de la World Wide Web. Com ARPANet vint anys enrere, el seu propòsit era posar en comunicació els científics. La WWW és una creació europea fruit del treball de Tim Berners-Lee i Robert Cailauu. El seu objectiu era buscar una eina de treball per a crear i llegir textos a través d'una xarxa que permetia intercomunicar els físics de tot el món. Berners-Lee va crear l'HTML, l'HTTP i les URL.
- 1992: neix la Internet Society, l'"autoritat" de la Xarxa. Naixia com el lloc on es podien pactar els protocols que farien possible la comunicació. L'IAB (Internet Activities Board) s'integra a la Internet Society. En l'IAB va destacar l'IETF (Internet Engineering Task Force), que tenia com a funció el desenvolupament d'Internet a curt termini i la responsabilitat de la direcció tècnica. La major part dels RFC s'elaboren en l'IETF, i aquests anaven augmentant cada any. Internet ja té 1.136.000 servidors. A Espanya apareix Goya Servicios Telemáticos, primer proveïdor d'accés comercial.
- 1993: apareix el primer visualitzador gràfic de pàgines web, el Mosaic, l'antecessor del Netscape. Fins aquell moment la Xarxa era només text: ara sobre un fons gris apareixen documents amb gràfics i enllaços en blau. El creixement d'Internet supera el 350.000% (gairebé dos milions d'ordinadors). Marc Andreeseen, cocreador de Mosaic, funda Netscape al costat del veterà executiu de Silicon Valley, Jim Clarke. El setembre la Universitat Juan Carlos I de Castelló publica el primer servidor web d'Espanya, on ja hi havia deu nodes i 15.000 màquines sota el domini .es.
- 1994: any del primer correu brossa; els advocats d'Arizona Canter & Siegel llancen el 5 de març de 1994 un anunci a 6.000 grups de notícies, i són perseguits pels furiosos internautes, que aconsegueixen que els expulsin del seu ISP (i de l'advocacia). L'octubre ATT i Zima (un refresc) posen els primers bàners (*banners*) comercials de la història a Hotwired. Però no tot són desgràcies: també obren el primer centre comercial, la primera ràdio i el primer banc a la Xarxa. El nombre de servidors d'Internet



Primer bàner d'Internet (part superior de la imatge) a HotWired (1994)

assoleix els 3.800.000. A la Universitat de Stanford dos estudiants creen un directori de coses interessants de la Xarxa, que anomenen Yahoo! Lycos. Es difon la versió comercial del navegador Netscape Navigator. A Espanya neix Servicom.

- 1995: es comencen a cobrar els dominis. Sun crea el Java i RealAudio incorpora so a la Xarxa. Microsoft llança amb gran publicitat el Windows 95 i anuncia un gir estratègic envers Internet. El fabricant Digital (DEC) crea AltaVista, un cercador d'Internet. Neixen la llibreria Amazon.com i el lloc de subhastes eBay. Hi havia més de cinc milions de servidors connectats a Internet. L'espina dorsal d'NSFNET començava a ser substituïda per proveïdors comercials interconnectats. Sortida a borsa de Netscape, la tercera major fins llavors, que marca el començament del "boom" d'Internet.

El TCP/IP va néixer a partir d'un encàrrec de la DARPA a la comunitat científica americana per tenir una xarxa mundial que fos reconfigurable fàcilment i automàticament en cas de destrucció d'algun node o d'algun enllaç.

La pila TCP/IP és una jerarquia de protocols que oferia connectivitat i, tot i tenir poc a veure amb les que ja hi havia, era una opció més en el mercat. Davant d'una oferta tan gran, i dispar, de protocols, l'ISO i el CCITT van proposar un model nou que intentava reunir d'alguna manera tot el que ja s'havia proposat, i que pretenia ser complet, racional i molt ben estructurat (la TCP/IP té fama de ser una pila de protocols anàrquica), amb la intenció, per tant, que es convertís en un model de referència. És l'anomenada pila de protocols OSI. Internet, que va néixer i créixer a les universitats, es va començar a fer popular a la dècada dels noranta, a mesura que els qui coneixien la Xarxa l'anaven "ensenyant", i la seva popularització va esclatar quan va saltar al món de l'empresa, en tots els seus vessants: com a aparador de productes o com a canalitzador de contactes comercials.

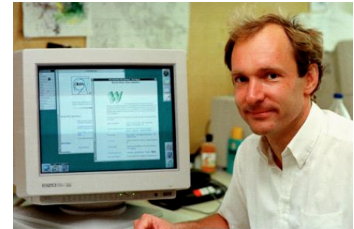
El seu origen universitari, però, ha marcat aquesta evolució en molts sentits. Per exemple, el model client/servidor d'aplicacions distribuïdes. És un model senzill i alhora potent, i gairebé totes les aplicacions que es fan servir a Internet el segueixen. El Telnet, o obertura de sessió remota, la transferència de fitxers (FTP), el correu electrònic i, sobretot, el WWW, són exemples clars d'aplicacions que segueixen aquest model. Les dues primeres han caigut una mica en desús, però tant el correu com el WWW són les estrelles avui dia a Internet. Tímidament, apareixen noves propostes d'aplicacions, però el WWW, que va néixer com un servei de pàgines estàtiques enllaçades amb hiperenllaços, s'està convertint en la interfície d'usuari de tota la Xarxa, perquè actualment s'empra per a servir pàgines dinàmiques (es creen en el moment en què se serveixen), i fins i tot, codi que s'executa a l'ordinador client (*applets*).

En aquest moment tenim dues xarxes completament independents entre si, però d'alguna manera superposades:

- 1) Una xarxa analògica, amb commutació de circuits, pensada per a veu.
- 2) Una xarxa digital, amb commutació de paquets, pensada per a dades.

DARPA

DARPA, sigla de *Defense Advanced Research Project Agency* (Agència de Projectes d'Investigació Avançada per a la Defensa).



Tim Berners Lee. Creador del WWW

La xarxa telefònica, tal com l'hem descrita fins ara, és completament analògica: el senyal electromagnètic que viatja des d'un telèfon fins a un altre és analògic (varia contínuament i a cada moment pot prendre qualsevol valor) i els circuits electrònics que componen la xarxa també ho són.

Els enllaços entre centrals de la xarxa telefònica es feien amb senyals analògics amb molts canals multiplexats en freqüència, i havien de recórrer, de vegades, grans distàncies. L'atenuació del senyal inherent a la distància que havia de recórrer s'havia de corregir mitjançant repetidors que l'amplificaven, cosa que augmentava el soroll present a la línia. Molt sovint, el senyal rebut era d'una qualitat molt baixa perquè la transmissió analògica no permet d'eliminar el soroll i les interferències en la recepció. No hi ha cap manera de saber exactament què s'ha enviat des de l'origen i què és soroll afegit. L'any 1972 es van fer públics els primers resultats del tractament digital del senyal aplicat a àudio, bàsicament orientat a l'emmagatzematge. El CD estava veient la llum. Convertir un so (una magnitud física que pot prendre qualsevol valor en qualsevol moment) en una sèrie de 0 i 1 (dos únics valors, coneguts) permetia de corregir fàcilment qualsevol soroll afegit.

El descobriment del processament digital del senyal i les seves aplicacions en els camps del so i la imatge ha estat una fita cabdal en el món de les comunicacions. Bàsicament, ha permès de reduir dràsticament l'efecte del soroll, la qual cosa ha permès, d'una banda, d'incrementar la qualitat de recepció del senyals i, de l'altra, d'augmentar la velocitat de transmissió amb els mateixos medis.

Les companyies telefòniques van començar a substituir els enllaços interns (entre centrals) per senyals digitals, però mantenint el bucle d'abonat (línia i terminal) analògic. La digitalització del senyal de so es fa dins de la central local, després del filtre de 4 kHz, i es torna a passar a analògic a la central corresponent a l'altre extrem de la comunicació. Això ha fet canviar substancialment els processos de commutació: ara s'ha de treballar amb bits i, per tant, les centrals electromecàniques s'han de substituir per ordinadors.

Aquesta digitalització de la part interna de la xarxa de veu va fer que, d'alguna manera, les dues xarxes, la telefònica i la de dades, confluïssin: els enllaços digitals entre centrals s'utilitzaven indistintament per a paquets de dades i per a transmissions de veu.

Petita història de les comunicacions IV

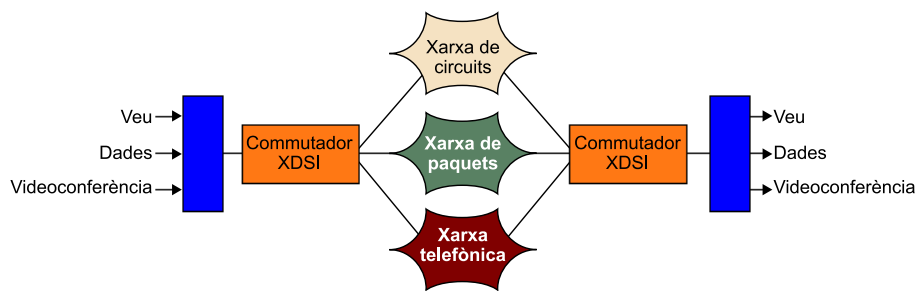
Quart període, 1996-ara. Multimèdia, cents de milions d'usuaris

- 1996: el 98% dels navegadors eren Netscape, i es pensa que la Xarxa pot acabar amb el sistema operatiu. Microsoft respon llançant Explorer, la qual cosa dona inici a la "guerra dels navegadors". Internet ja té més de 9.400.000 servidors. A Espanya hi ha més de 100.000 ordinadors sota el domini .es. Surten a borsa Yahoo! i Excite amb grans beneficis. Als EUA es llança la Communications Decency Act, que serà anul·lada el 1997. Es proposa la creació de set nous dominis genèrics; tv.com es ven a CNET per 15.000 dòlars. Procter&Gamble, el major anunciant del món, imposa el pagament per clic, que dominarà la publicitat en línia (en anglès, *online*). Inclusió de continguts multimèdia: tècnica de transmissió en temps real per a la transmissió fluida de vídeo.

- 1997: business.com es ven per 150.000 dòlars. El 1997 ja hi ha 17 milions de servidors a la Xarxa. A Espanya es crea ESPANIX per a intercanviar trànsit local; al final de l'any hi ha 500 proveïdors i un milió d'internautes, gràcies a Infovia.
- 1998: Microsoft, amb el seu Explorer, té més del 80% dels navegadors, i és demandat per abús de posició dominant. La Xarxa té 300 milions de pàgines. Neix Google i AOL compra Netscape. Es registra el domini comercial número dos milions. El govern dels EUA anuncia un pla per a privatitzar Internet que es rebutja; un segon pla és més ben rebut.
- 1999: neix Napster, el primer programa d'intercanvi de fitxers (P2P). A Espanya Telefónica desactiva Infovia i funda Terra (que sortirà a borsa amb gran èxit) a la qual dota de xifres amb la compra del cercador Olé. Part de l'equip fundacional abandona per fundar Ya.com. Es paguen 7,5 milions de dòlars per business.com. A final de l'any l'índex NASDAQ assoleix xifres desmesurades. Espanya té 300.000 ordinadors sota .es i dos milions de navegants. El format de so MP3 desestabilitza les multinacionals del disc.
- 2000: el temut "efecte 2000" no provoca amb prou feines problemes. En l'intermedi de la Super Bowl de futbol americà, a mitjan gener, s'anuncien 17 companyies "punt-com", que paguen dos milions de dòlars per 30 s d'anunci cada una. El març l'índex NASDAQ assoleix el seu pic històric: 5.048 punts; durant l'estiu s'inicia una llarga caiguda. Terra compra Lycos per 12.500 milions de dòlars, i al costat de Telefónica comença a oferir ADSL. Els operadors de cable comencen a donar servei de banda ampla domèstica a Espanya. La botiga de roba boo.com bat rècords, amb una facturació en sis mesos de 160 milions de dòlars. Microsoft és condemnat per abusar del seu quasimonopoli en sistemes operatius. S'estima que el Web supera els mil milions de pàgines.
- 2001: arrenca amb el plet llançat de nou per les discogràfiques contra Napster per afavorir la pirateria, plet que acaba per provocar el seu tancament el juliol per ordre judicial (i la seva resurrecció com a servei de pagament). El febrer Napster havia batut el seu propi rècord, amb 13,6 milions d'usuaris. Napster tanca el juliol per ordre judicial (tornarà a sortir com a servei de pagament). America Online compra el gener Time Warner, el grup mediàtic més gran del món, en el que es considera el triomf definitiu dels nous mitjans sobre els vells. L'empresa Kozmo de venda per Internet amb lliurament ràpid fa fallida a l'abril. El seu competidor Webvan sofreix el mateix destí. El maig es llança el programa SETI@Home, el primer gran projecte de computació distribuïda; en menys d'un mes proporciona més potència de càlcul que el major superordinador disponible llavors.
- 2002: la crisi puntcom es continua aprofundint. Els dominis són notícia, amb l'obertura de tres nous dominis de màxim nivell (.name per a persones, .coop per a cooperatives i .aero per a empreses aeronàutiques) que no tindran gaire èxit. L'octubre un atac concertat aconsegueix desconnectar 8 dels 13 ordinadors de què depèn tot el sistema de dominis, la qual cosa accelera els plans per a reforçar-lo. Explosió en l'ús de les bitàcoles (en anglès, *weblogs* o abreujat, *blogs*): pàgines escrites pels cibernautes en les quals expliquen anècdotes de les seves pròpies vides i donen a conèixer les seves opinions. El que queda de Napster és adquirit pel conglomerat alemany Bertelsmann.
- 2003: any de la música. La patronal musical dels EUA (RIAA) denuncia per primera vegada usuaris finals per intercanviar música en xarxes P2P. Apple treu la seva botiga de música iTunes, associada al reproductor iPod. Després de dos anys de contínua caiguda del valor AOL Time Warner elimina AOL del seu nom. Wi-Fi s'enlaira com a alternativa d'accés sense fil. Diverses plagues van escombrar Internet; des de Slammer, que es va estendre en deu minuts, va fer caure vuit servidors arrel i va afectar bancs i trànsit aeri, fins a SobigF i Blaster. Després d'una certa aturada entre 2001 i 2002, es recupera el vigorós ritme de creixement del nombre de servidors a la Xarxa. Aquest any també comença l'atac judicial de SCO contra Linux.
- 2004: comença la recuperació. Surt a borsa Google, que llança el seu correu web d'1 GB Gmail. Guerra de cercadors: Yahoo! abandona Google i compra diverses empreses, Microsoft potencia MSN Search i Amazon llança A9. La música de pagament també s'escalfa, amb l'entrada de Wal-Mart, Sony, Virgin, eBay i Microsoft; iTunes té el 70% del mercat. El navegador Firefox v1.0 fa forat en el domini de l'Explorer de Microsoft, i li arrabassa un 5%. Als EUA la banda ampla supera els mòdems i la campanya de les presidencials demostra el poder de les bitàcoles Rathergate; el precandidat Howard Dean usa la Xarxa per a la mobilització i recaptació de fons. A Espanya Terra ven Lycos per 105 milions de dòlars. El Copyleft avança, amb l'extensió de les llicències Creative Commons.

- 2005: hi ha més servidors arrel fora dels EUA que al seu territori. La Xarxa té més de 300 milions d'ordinadors centrals, gairebé 60 milions de dominis actius, més de 4.000 milions de pàgines web indexades per Google i més de 900 milions de navegants. Suècia té la penetració més alta (74% de la població), i Espanya és la 22 per accessos de banda ampla (gairebé 2,5 milions) i la 12 per total de navegants (14 milions), però està per sota de la mitjana europea en penetració. Diversos accidents i atacs revelen informació privada a la Xarxa. Microsoft respon al Firefox amb el llançament d'una versió no prevista de l'Explorer. Apple presenta l'iPod Shuffle, basat en memòria flaix. El mercat de la publicitat en línia es desperta, i diversos mitjans espanyols rellancen les seves pàgines web.
- 2006: apareixen els exponents principals de la revolució del Web 2.0, el Youtube, el Facebook i el GoogleEarth. El fenomen de la xarxa interactiva i dinàmica comença a estendre's. Es comencen a esboçar noves tendències de computació distribuïda. Apareix el terme *cloud computing* (informàtica en núvol).
- 2007: les plataformes de descàrrega de continguts basats en tecnologies P2P aglutinen la majoria del trànsit de la Xarxa. L'XMPP esdevé la estàndard *de facto* per a les comunicacions en missatgeria instantània. El Gmail deixa de ser beta i esdevé accessible per a tothom: el Writely, adquirit pel Google l'any anterior, és anomenat *Google Docs*. Neix l'Android com a sistema operatiu per a dispositius mòbils.
- 2008: auge en l'accés a Internet mitjançant dispositius mòbils. Àmplia adopció de la tecnologia 3G. Cinquantè aniversari del naixement de la Xarxa. El Govern xinès construeix un sistema de filtratge i censura la Xarxa per a controlar els continguts que arriben als usuaris del país asiàtic.
- 2009: s'esboça la Internet de les coses. Apareix el 6LowPan com a iniciativa per a proveir d'adreçament IPv6 les xarxes de sensors. S'estén l'oferta de serveis a la Xarxa. Auge de la informàtica en núvol.
- 2010: Facebook arriba als 400 milions d'usuaris. Google és boicotejat a la Xina. L'Amazon EC2 i el Google Application Engine es disputen el mercat del núvol. IBM es desmarca de la competència pel mercat núvol oferint solucions basades en escriptoris remots (eyeOS). Es comença a parlar de xarxes cognitives. Apareix l'iPhone 4, que marca una nova tendència, Internet esdevé cada vegada més desvinculada de l'ordinador, els dispositius mòbils prenen el protagonisme.

Figura 30



Un cop digitalitzada la xarxa telefònica, el pas següent havia de ser portar la transmissió de bits fins a les cases. Això permetia, d'una banda, oferir als usuaris a casa seva la transmissió de dades a més de la tradicional de veu i, de l'altra, oferir als abonats un ventall de nous serveis associats a una comunicació enterament digital de punta a punta. Aquest servei de transmissió digital mitjançant la xarxa telefònica es coneix com a xarxa digital de serveis integrats (XDSI). Ofereix dos canals independents de 64 kbps, que permeten parlar i connectar-se a Internet simultàniament o, amb maquinari adequat, aprofitar els dos canals junts per a navegar a 128 kbps.

XDSI

La xarxa digital de serveis integrats (XDSI) correspon a les sigles *RDSI* en castellà i *ISDN* (*integrated services digital network*) en anglès.

L'ús de la xarxa telefònica per a transmetre dades té una limitació important pel que fa al màxim de bits per segon permesos, i les xarxes específiques de dades són molt cares per a l'ús domèstic. Des de la dècada dels noranta, s'han estudiat maneres d'aconseguir portar fins a les cases o les empreses un bon cabal de bits per segon (banda ampla) a un preu raonable, de manera que les noves aplicacions multimèdia es puguin explotar al màxim. Per a aconseguir aquesta banda ampla, s'han seguit dos camins completament diferents. Pel que fa al primer, s'han promogut cablatges nous amb fibra òptica que permetin aquest gran cabal, sovint duts a terme per empreses amb afany competidor contra els monopolis dominants. Aquestes xarxes s'aprofiten per a donar un servei integral: televisió, telèfon i dades. Pel que fa al segon, les companyies telefòniques de tota la vida han volgut treure partit del cablatge que ja tenen fet i, per això, s'han desenvolupat les tecnologies ADSL, que permeten de fer conviure en el bucle d'abonat el senyal telefònic i un senyal de dades que pot arribar als 8 Mbps (o 20 Mbps amb tecnologia ADSL+).

Resum

El mòdul ha introduït els conceptes fonamentals de les xarxes de computadors. Hem vist que les xarxes de computadors són una composició de sistemes de maquinari, programari i protocols que permeten la comunicació entre dispositius remots. Hem vist les topologies més comunes de les xarxes de comunicació, i que aquestes també es poden classificar pel seu abast.

L'arquitectura de les xarxes de computadors està estructurada en diferents nivells. Hem vist que hi ha un model de referència anomenat *OSI* que defineix set nivells de xarxa. Els nivells més baixos es preocupen dels aspectes físics de la comunicació, de la caracterització del medi a la codificació de la informació transmesa. Les capes superiors usen les interfícies d'abstracció de les seves capes subjacents i contrueixen així un sistema complex que permet la transmissió estructurada d'informació entre dispositius remots. La divisió en capes i les interfícies permet l'abstracció de les funcionalitats de les capes subjacents a les capes superiors, i fan així que les capes es puguin modificar o canviar sense que això afecti el comportament de la xarxa. Els conceptes d'interfície i encapçalament són claus per a entendre l'estructuració en capes d'una xarxa.

No obstant això, hem vist també que el model OSI és complex i no ha estat utilitzat sinó com a model de referència. En realitat Internet usa un model TCP/IP més simple però funcional. El mòdul ha presentat tots dos models i els ha comparat detalladament capa per capa. Finalment el mòdul repassa la història de les comunicacions. Conèixer la història ens ajuda a entendre el perquè de determinades particularitats de les xarxes de comunicacions actuals.

En els propers mòduls aprofundirem en el coneixement de cada un dels nivells de la xarxa. En aquest curs hem pres un enfocament *top-down*, és a dir, des dels nivells més propers a l'aplicació fins als nivells més específics del maquinari. Aquesta aproximació pot diferir d'alguns d'altres documents de referència en què les xarxes es presenten a la inversa, primer coneixent els nivells físics i finalment presentant els nivells d'aplicació. Cal dir també que en aquest curs no tractarem els aspectes relacionats amb la capa d'aplicació, ja que ja són introduïts en altres assignatures de la titulació i, per tant, començarem pel nivell de transport.

El mòdul 2 presenta en detall el nivell de transport; el mòdul 3 és cabdal i aprofundeix en el nivell de xarxa. Els mòduls 4 i 5 introdueixen els principals conceptes dels nivells d'enllaç de dades i físic, que, com veureu, estan fortament interrelacionats.

Bibliografia

Kurose, J. F.; Ross, K. W. (2005). *Computer networking: a top-down approach featuring the Internet*. Addison-Wesley.

Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de computadores* (4a. ed.). Pearson.

