

Introducció i arquitectures de xarxa

Josep Ferrer Tura, Sergi Pérez Duran, Oriol Torres Carrió

Adaptació de continguts: Sergi Pérez Duran

Planificació i administració de xarxes

Índex

Introducció	5
Resultats d'aprenentatge	7
1 Introducció a les xarxes	9
1.1 Factors d'expansió	10
1.1.1 Negoci	10
1.1.2 Domèstic	11
1.1.3 Usuaris mòbils	11
1.2 Components d'una xarxa	12
1.2.1 Medis de transmissió	12
1.2.2 Hoste	15
1.2.3 Dispositius	17
1.2.4 Programari	20
1.3 Classificació de les xarxes	20
1.3.1 Per l'abast	21
1.3.2 Configuració física (topologies)	21
1.3.3 Relacions	25
1.4 Protocols, serveis i arquitectures	26
1.5 Sistemes de numeració	27
1.5.1 Numeració ponderada	27
1.5.2 De decimal a binari	28
1.5.3 De binari a decimal	30
2 Arquitectures de xarxa	31
2.1 Necessitat d'arquitectura	31
2.2 Arquitectura per capes	32
2.2.1 Capes	33
2.2.2 Encapsulació	33
2.2.3 Serveis i protocol	34
2.3 Models de referència	37
2.3.1 El model OSI	37
2.3.2 Protocol TCP/IP	42
2.3.3 Comparació entre els models: OSI i TCP/IP	44
2.4 Ethernet	45
2.4.1 Origen	46
2.4.2 Cablejat	47
2.4.3 Ethernet i IEEE 802.3 envers el model de referència OSI	50
2.4.4 Adreçament MAC	52
2.4.5 Trama MAC	53
2.4.6 Control d'accés al medi	56

Introducció

En el món actual els ordinadors rarament treballen aïllats, ja que es troben connectats en xarxa i de fet cada cop s'incorporen a aquest treball en xarxa tot tipus de dispositius, com ara els telèfons mòbils i també es diversifica l'ús de la xarxa no solament per treballar sinó per oci, per comerç, per llegir, etc. Per tant la tecnologia de la xarxa d'ordinadors és un tema totalment actual i amb molt de futur. En aquesta unitat s'expliquen les bases de com funcionen les xarxes d'ordinadors.

Aquesta unitat “Introducció i arquitectures de xarxa” com el seu títol indica és la introductòria del mòdul, i s'hi defineixen els conceptes bàsics. Us permetrà entendre millor la resta d'unitats, alhora que dóna una visió global de les xarxes d'ordinadors que permetrà poder aprofundir-hi en les unitats següents.

En l'apartat “Introducció a les xarxes” s'explica l'evolució de les xarxes d'ordinadors, la importància que estan adquirint en el present i el ràpid progrés tecnològic. Es detalla per quins elements està formada una xarxa i els tipus de xarxes que existeixen, degut a l'abast que cobreix la xarxa, a les relacions jeràrquiques entre els components o la manera com estan connectats els elements d'una xarxa. S'explica com està dissenyat el procés de comunicació entre dues màquines.

En l'apartat “Arquitectures de xarxes” es detalla el procés de comunicació dels dispositius d'una xarxa, com està dissenyat aquest procés basat en capes, serveis i protocols. S'expliquen les dues grans arquitectures que implementen aquest procés que són l'OSI i la TCP/IP, i també es presenten els orígens d'aquests models, detallant-ne el funcionament d'ambdues i comparant-les. Posteriorment veureu en detall una de les primeres tecnologies que existiren per connectar ordinadors en xarxa. Es tracta de la tecnologia Ethernet, i com aquest model forma part de les capes inferiors del model OSI. També veureu com dins del model Ethernet s'identifiquen de manera única els dispositius en una xarxa.

Per seguir els continguts d'aquest mòdul, és convenient anar fent les activitats i els exercicis d'autoavaluació i llegir els annexos. Tot i que les unitats tenen un contingut important des del punt de vista conceptual, sempre s'ha procurat donar-los un enfocament pràctic en les activitats proposades.

Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquesta unitat l'alumne/a:

1. Reconeix l'estructura de les xarxes de dades identificant els seus elements i principis de funcionament.

- Identifica els factors que impulsen la contínua expansió i evolució de les xarxes de dades.
- Diferencia els diferents mitjans de transmissió utilitzats en les xarxes.
- Reconeix els diferents tipus de xarxa i les seves topologies.
- Descriu les arquitectures de xarxa i els nivells que les componen.
- Descriu el concepte de protocol de comunicació.
- Descriu el funcionament de les piles de protocols en les diferents arquitectures de xarxa.
- Presenta i descriu els elements funcionals, físics i lògics, de les xarxes de dades.
- Diferencia els dispositius d'interconnexió de xarxes atenent al nivell funcional en què s'enquadren.

1. Introducció a les xarxes

Les persones sempre han tingut la necessitat de comunicar-se i intercanviar informació, però la distància i el temps han estat uns dels inconvenients principals: les xarxes entre ordinadors han resolt aquests contratemps.

Els ordinadors són màquines especialitzades a processar informació d'acord amb unes instruccions preestablertes, però no sempre la informació es produeix o s'emmagatzema al lloc on es processa i, per tant, caldrà transportar les dades des del seu origen fins a la seva destinació, amb la qual cosa es crea una comunicació.

La missió fonamental de les xarxes és que la informació es pugui transmetre entre elements terminals, és a dir, entre un sistema anomenat **transmissor** i que posseeix o genera la informació, i un altre sistema anomenat **receptor** que requereix aquesta informació.

La transmissió d'aquesta informació depèn fonamentalment de dos factors, del senyal que es transmet i que conté la informació i del medi per on s'efectua la transmissió. Aquesta transmissió d'informació entre ordinadors és el que crea les xarxes d'ordinadors.

Actualment, les xarxes d'ordinadors és un concepte quotidià; en tan sols uns anys les xarxes d'ordinadors han passat de ser quelcom inhabitual i desconegut al primer pla de la nostra realitat. Segurament, l'actor principal d'aquesta realitat és **Internet** i les seves aplicacions sobre ella (correu electrònic, xarxes socials, comunicació, etc.). Aquests termes tenen, i tindran, un interès creixent en un futur pròxim. Per tant el món de les xarxes és cada cop més habitual: és un fet normal que la majoria tinguin connexió a Internet a casa (el que implica tenir una petita xarxa domèstica) i cada cop és més estrany trobar-nos davant d'un ordinador "aïllat", sense connexió a cap xarxa.

Ús d'Internet a Espanya el 2010

A continuació podeu observar un llistat amb diferents dades que us poden donar una idea de l'ús d'Internet a Espanya:

- El 57,4% de les llars disposen de connexió de banda ampla a Internet, un 11,6% més que el 2009.
- El nombre d'internautes creix un 7,1% en el darrer any i supera els 22,2 milions de persones.
- El 17,4% de la població utilitza el comerç electrònic.
- En el 68,7% de les llars amb almenys un membre de 16 a 74 anys disposa d'ordinador en l'any 2010. Aquest percentatge supera en 2,4 punts el del 2009.

Una explicació de tot això és també que els preus de la informàtica han patit des de fa uns anys una disminució exponencial:

- El preu de l'espai en disc (euros/MB; *megabyte*) es redueix a la meitat aproximadament cada 4,5 anys.
- La potència del processador (euros/MIPS; *million instructions per second*, milions d'instruccions per segon) cada 2 o 3 anys.
- La memòria RAM (*random access memory*, memòria d'accés aleatori) (euros/MB) cada 1,8 anys.
- El preu de la transmissió de dades (mesurades en euros/Mb/s/km) es redueix a la meitat cada 1,5 anys, o sigui té una disminució encara més gran que les tecnologies informàtiques.

Com a resultat d'aquest ràpid progrés tecnològic, aquestes àrees estan convergent d'una manera accelerada i les diferències entre la recollida, transport, emmagatzematge i processament de la informació estan desapareixent ràpidament. Per exemple, hi ha organitzacions amb centenars d'oficines disperses geogràficament. Aquestes esperen de manera rutinària poder examinar l'estat actual, fins i tot de la seva sucursal més llunyana, amb tan sols prémer un botó. Això els fa trencar amb la "tirania de la geografia".

1.1 Factors d'expansió

Hi ha una sèrie de factors, com per exemple el tecnològic, que han fet expandir l'interès i treball en les xarxes d'ordinadors. En aquest cas us centrareu en l'ús que es fa de les xarxes en diferents àrees:

- Negoci
- Domèstic
- Usuaris mòbils.

1.1.1 Negoci

Qualsevol empresa té els seus ordinadors connectats en xarxa, de manera local creant-hi una xarxa local (LAN, en anglès, *local area network*, xarxes d'àrea local) i fins i tot interconnectant-les amb altres xarxes a través d'enllaços telefònics (anomenades WAN, en anglès, *wide area network*, xarxes d'àrea estesa). Les motivacions de les empreses per usar xarxes són les següents:

1. Compartir recursos físics/dispositius: compartir una impressora per tota l'oficina.
2. Compartir informació (model client/servidor): tenir centralitzada la informació en un disc compartit.
3. Trencar els obstacles de la separació geogràfica: una empresa multinacional per comunicar-se amb les seves seus.
4. Comunicació entre empleats: textual, videoconferència, comerç electrònic, fer comandes per evitar estalviar en estoc; comunicació immediata.
5. Treball cooperatiu: treballar en documents, videoconferència.

1.1.2 Domèstic

El grau d'incidència que tenen les xarxes en el món domèstic és molt gran, per tant és una àrea força important. A petita escala les motivacions són les mateixes que les de les empreses:

1. Accedir a informació remota.
2. Comunicació: per exemple hi ha la missatgeria instantània, comunicació P2P (*peer to peer*, d'igual a igual).
3. Formació a distància (en anglès, *e-learning*): un exemple d'això és l'IOC (Institut Obert de Catalunya).
4. Comerç electrònic: cada cop hi ha més compres que es fan només per Internet (entrades per espectacles, bitllets d'avió, etc.)
5. Oci interactiu: jugar en línia, serveis audiovisuals (a demanda per veure televisió o cinema).

1.1.3 Usuaris mòbils

Avui en dia l'ús del mòbil és el que més creix, ja que cada cop hi ha al mercat més telèfons amb accés a Internet, per tant és on es centren més els factors de creixement tecnològic i de possibles aplicacions. Les motivacions dels usuaris mòbils són similars a les dels domèstics però en aquest cas s'afegeixen noves possibilitats que donen la geolocalització (conèixer la posició geogràfica de l'usuari en aquell moment) que permet donar serveis a l'usuari depenent del lloc on es trobi.

1.2 Components d'una xarxa

Una xarxa d'ordinadors està formada per targetes, cables o ones (medis) que uneixen els ordinadors amb altres elements o els elements intermedis de maquinari actius que formen part de la comunicació, com ara: repetidors, amplificadors, concentradors, commutadors i altres elements que filtren, amplifiquen, restableixen o encaminen els senyals de transmissió de dades. Però també té elements que no són físics com el programari implicat: els sistemes operatius o aplicacions que usen la xarxa (lectors de correus, navegadors web, etc.).

S'anomena **components d'una xarxa** tots aquells elements que formen part de la comunicació, en la transmissió de la informació, entre els ordinadors.

Per exemple en una petita xarxa domèstica hi ha com a components de la xarxa: la targeta de l'ordinador, el cable que uneix l'ordinador amb l'encaminador (*router*) que uneix la meua xarxa amb Internet i a part d'aquests components físics hi ha el programari. Si per exemple s'usa la xarxa per navegar per Internet hi ha el sistema operatiu i el navegador que s'usi (Firefox...).

1.2.1 Medis de transmissió

En una xarxa d'ordinadors contínuament s'està intercanviant informació entre ordinadors, aquesta informació es transmet a través de senyals elèctriques que poden ser una variació de corrent elèctric o de tensió elèctrica. Per tant aquests senyals transporten les dades entre un emissor i un receptor, propagant-se a través d'un **medi de transmissió**.

El **medi de transmissió** és el suport físic a través del qual l'emissor i el receptor es poden comunicar.

Els medis de transmissió es poden classificar com a **guiats** i **no guiats**.

Els **medis guiats** són els medis per on els senyals que transporten la informació circulen confinats dins el medi, per exemple els senyals elèctrics en els cables o els senyals òptics en la fibra òptica. Contràriament, els **medis no guiats** són els medis en què els senyals es propaguen sense estar limitats, per exemple les ones electromagnètiques de ràdio en la propagació per l'aire o pel buit, en les xarxes sense fil.

El terme **enllaç directe** fa referència al camí de transmissió entre dos dispositius, la transmissió s'efectua directament del transmissor al receptor sense cap dispositiu intermedi, excepte dispositius amplificadors o repetidors, que són dispositius que tenen la capacitat de regenerar els senyals que poden arribar malmesos a causa de la distància.

Medis guiats

Es basen en la necessitat d'algun element per transmetre els senyals, i necessiten d'un medi físic per on propagar les ones electromagnètiques. De medis guiats, n'hi ha dels tipus següents:

- **Sistema de cablejat metàl·lic:** El cable metàl·lic és el medi de transmissió més utilitzat quan es tracta de distàncies no gaire grans o es necessiten capacitats no gaire elevades. La informació es transmet en forma d'ones electromagnètiques. Normalment aquests cables formats per elements metàl·lics són de **coure** degut al seu cost i a la seva bona conductivitat.
- **Fibra òptica:** La fibra òptica és un medi de transmissió usat habitualment quan es necessita cobrir distàncies més grans en xarxes o quan es requereix de capacitats més elevades. Es tracta d'un fil molt fi de material transparent, vidre o materials plàstics, pel qual la informació es transmet a través de polsos lluminosos.

S'usa molt en telecomunicacions, ja que permet enviar gran quantitat de dades a una gran distància, amb velocitats similars a les de ràdio o cable, també per la seva alta fiabilitat.

Ona electromagnètica

L'ona electromagnètica és la forma de propagació de la radiació electromagnètica a través de l'espai. Una ona electromagnètica habitualment es produeix per un corrent elèctric altern.

Medis no guiats

Es basen en la transmissió d'ones electromagnètiques que recorren el buit de l'espai exterior i l'aire. Per tant no és necessari un medi físic; en conseqüència, fa que el disseny d'una xarxa sigui molt versàtil. És la solució òptima per quan no és possible l'ús de cable ja sigui per dificultats geogràfiques o per necessitat d'una connexió mòbil.

- **Ones de ràdio:** les ones de ràdio són fàcils de generar, poden viatjar distàncies llargues i penetrar edificis sense problemes, per això el seu ús està molt generalitzat en la comunicació, tant en interiors com en exteriors. Les ones de ràdio també són omnidireccionals, és a dir, viatgen per totes direccions a partir d'un origen, i per tant no és necessari que el transmissor i receptor estiguin alineats. Té problemes d'interferències. S'usen, per exemple, en les xarxes domèstiques sense fil (wifi o *wireless fidelity*, fidelitat sense fil).
- **Ones infraroges:** són ones per a distàncies curtes. L'infraroig és l'espectre que comprèn l'interval que va des de la llum visible fins a les microones. Els comandaments a distància de la televisió, o comunicar un portàtil amb els perifèrics, en són uns exemples.
- **Microones:** per la seva alta freqüència passen fàcilment a través de l'atmosfera amb menys interferència que altres freqüències més petites. També, l'espectre de les microones ofereix més ample de banda que altres de l'espectre radioelèctric. El seu ús es limita a zones a les quals no hi hagi gran quantitat d'obstacles, i la seva eficiència es veu afectada per les

Bluetooth és una especificació industrial que serveix per connectar sense fil els dispositius, que es poden dur a sobre, a una distància pròxima.

condicions meteorològiques. Un exemple seria la comunicació a través de Bluetooth.

Xarxa local sense fil

Degut a la idea de poder fer mòbils els terminals de xarxa fa que en aquests se'ls doti de sistemes receptors/emissors que utilitzen la tecnologia sense fils. Per tant les xarxes sense fils seran aquelles que s'usen en els medis no guiats. De xarxes sense fils, n'hi ha les següents:

- **WLAN** (*wireless local area network*, xarxa locals sense fils): és l'extensió de la LAN, la complementa ja que ara disposa d'una extensió de xarxa cablejada i l'altra part sense fils. Fins i tot alguna vegada substitueix totalment la LAN, tots els terminals tenen sistemes receptors/emissors sense fil. Ex: la xarxa domèstica per connectar-se a Internet on s'usen portàtils dotats de connexió sense fils.
- **PAN** (*personal area network*, xarxa d'àrea personal): tenen com a objectiu facilitar la comunicació entre terminals (fixos o mòbils) sense l'ús dels cables i els terminals es connecten directament entre iguals. Un exemple és la xarxa que es crea quan intercanvien fitxers entre dos mòbils per *Bluetooth*.
- **WMAN** (*wireless metropolitan area network*, xarxa d'àrea metropolitana sense fil) sorgeixen per superar les mancances de les WLAN ja que tenen més cobertura i amplada de banda. Usen com a medi les ones microones. Per exemple, unir sota una mateixa xarxa diferents oficines consecutives.

ANSI i UIT-T

Són dos organismes sense ànim de lucre que regulen el desenvolupament d'estàndards.

En el cas d'**UIT** (en anglès International Telecommunication Union, Unió Internacional de Telecomunicacions) és l'organisme especialitzat de les **Nacions Unides** encarregat de regular les telecomunicacions, a nivell internacional, entre les diferents administracions i empreses operadores. En concret l'**UIT-T** és el sector d'aquest organisme que normalitza les telecomunicacions.

Pel que fa a **ANSI** (en anglès American National Standards Institute, Institut Nacional Nord-americà d'Estàndards) supervisa el desenvolupament d'estàndards per a productes, serveis, processos i sistemes en els Estats Units, per garantir que els productes desenvolupats en aquest país puguin usar-se a tot el món.

Tipus de transmissió

El nombre de dispositius que comparteixen el medi de transmissió, classifica als medis guiats en dos tipus:

Simplex i dúplex

Les definicions UIT-T (Europa) i ANSI (Estats Units) dels termes *simplex* i *dúplex* són diferents. El terme *simplex* correspon al terme *semidúplex* (*half-duplex*) i el terme *dúplex* correspon al terme ANSI *full-duplex*.

1. **Punt a punt** quan el medi guiat proporciona un enllaç directe entre els dos únics dispositius que comparteixen el medi.
2. **Multipunt** quan el medi guiat és compartit per més d'un dispositiu.

Depenent de les característiques dels medis, aquesta transmissió pot ser simultània o no entre els dos dispositius. Es diu que la transmissió és *simplex* quan els senyals només es poden transmetre en un sol sentit simultàniament i es diu que la transmissió és *dúplex* quan els senyals poden ser transmesos en tots dos sentits simultàniament.

1.2.2 Hoste

Els usuaris per accedir a la xarxa usen els ordinadors. *Hoste* és un nom genèric per a la majoria dels dispositius d'usuari final de la xarxa. Per tant, també es poden conèixer com els terminals de xarxa.

En informàtica, s'utilitza **hoste** (en anglès, *host*) per referir-se als ordinadors connectats a una xarxa, que proveeixen i utilitzen serveis de la xarxa mateixa.

Els usuaris han d'usar hostes per tenir accés a la xarxa. *Hoste* és un nom genèric per la majoria dels dispositius d'usuari final de la xarxa. Per tant també es poden conèixer com els terminals de xarxa. En general, els hostes són ordinadors monousuari o multiusuari que ofereixen serveis de transferència d'arxius, connexió remota, servidors de serveis, etc. Els hostes envien i rebran tràfic dels usuaris. Un hoste ha de tenir una adreça IP de xarxa. Els ordinadors personals i les impressores connectades a la xarxa són alguns exemples d'hostes.

Internament, un ordinador personal està compost per un conjunt de dispositius electrònics, cadascun dels quals fa la seva part de la feina: la placa base, el processador, la memòria principal, els busos, els dispositius d'emmagatzematge, els dispositius d'entrada i sortida, i les targetes d'expansió. Pel que fa a aquests dispositius els que tenen incidència en les tasques d'ús de la xarxa són:

- targetes d'expansió
- instal·lació de la targeta de xarxa
- mòdems.

Les targetes d'expansió

Un ordinador per si sol no es pot connectar a una xarxa, per fer-ho necessita que se li afegeixi un nou maquinari que li permeti connectar-se a la xarxa.

Les **targetes d'expansió** s'insereixen en els connectors de la placa base i permeten afegir o modificar a l'ordinador una sèrie de prestacions addicionals a les del disseny original.

L'ordinador personal PC

L'ordinador personal PC (*personal computer*) és un microordinador dissenyat per ser usat per una sola persona a la vegada.

Algunes targetes d'expansió són, per exemple, les següents:

- La targeta gràfica, que és l'encarregada de gestionar i produir les imatges que es veuen pel monitor.
- La targeta de so, que és l'encarregada de produir senyals de so que es poden escoltar per uns auriculars o bé per uns altaveus, i de gestionar i transformar els senyals de so procedents, per exemple, d'un micròfon en senyals digitals que pugui utilitzar l'ordinador.
- La **interfície de xarxa**, que permet a l'ordinador comunicar-se amb altres ordinadors a través de la xarxa.

NIC

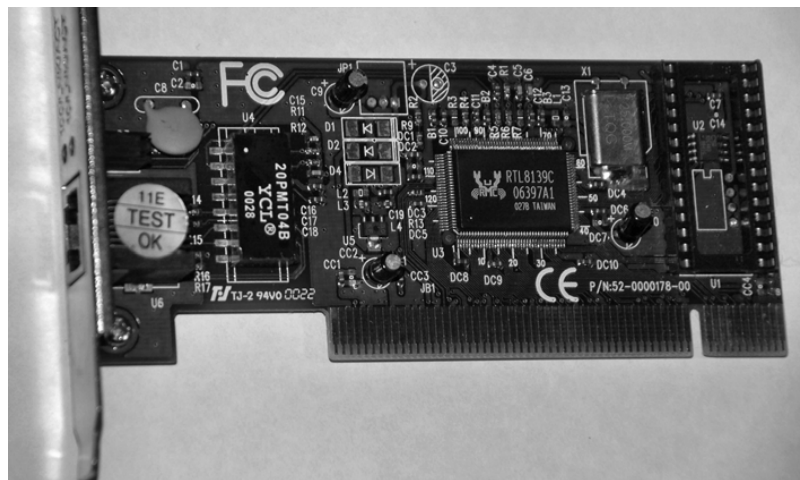
NIC (en anglès *network interface card*, targeta d'interfície de xarxa). Cada targeta de xarxa NIC té un número d'identificació únic, MAC (en anglès *media access control*, control d'accés al medi), que la distingeix en la xarxa de qualsevol altra i que es considera la seva adreça física.

Una **interfície de xarxa** és el dispositiu electrònic que comunica l'ordinador amb el medi de xarxa.

Físicament, la **interfície de xarxa** és una targeta d'expansió inserida dins l'ordinador o bé integrada en la placa mare amb un connector extern o més d'un, per on es connecta el cable de xarxa.

Des del punt de vista conceptual, la **interfície de xarxa**, també anomenada **targeta de xarxa**, **adaptador de xarxa** o **NIC** (figura 1.1), permet la comunicació de l'ordinador amb la xarxa i, alhora, compartir recursos entre diferents equips (discs durs, CD-ROM -en anglès *compact disc read-only memory*, disc compacte de només lectura de memòria-, impressora, etc.).

FIGURA 1.1. Targeta de xarxa Ethernet



Imatge: Josep Ferrer i Tura (Wikimedia Commons)

Hi ha diversos tipus d'adaptadors en funció del tipus de cablejat o arquitectura que s'utilitzi en la xarxa (coaxial fi, coaxial gruixut, anell de testimoni (*token ring*), etc.), però actualment el més comú és l'Ethernet, que utilitza un connector RJ-45 (*RJ Registered jack*).

Instal·lació de la targeta de xarxa

Alguns models d'ordinador no porten incorporada de sèrie la interfície de xarxa, si es vol que aquest ordinador pugui estar connectat a una xarxa cal instal·lar una targeta de xarxa i posteriorment configurar-la. També pot passar que es vulgui utilitzar l'ordinador connectat simultàniament a més d'una xarxa, per a la qual cosa cal que l'ordinador disposi de tantes interfícies de xarxa com xarxes es vulgui connectar.

En la secció "Annexos" del web d'aquest mòdul trobareu informació sobre la instal·lació i configuració d'una targeta de xarxa.

Mòdems

Moltes vegades la informació s'ha de transmetre per diferents tipus de medis que admeten diferents tipus de senyals digitals o analògics, o amb diferents tipus de modulació. Un mòdem és un aparell electrònic capaç de convertir un senyal d'un tipus (per exemple, un senyal digital) en un altre d'analògic que pugui ser transmès per un medi dissenyat per a senyals analògics, i a l'inrevés.

El terme *mòdem* ve de la contracció de dues paraules: **Modulador Demodulador**.

1.2.3 Dispositius

Per tal d'interconnectar dos ordinadors o més per constituir una xarxa, en la majoria dels casos, no n'hi ha prou que els ordinadors disposin d'una interfície i que els connecti un medi adequat, calen a més altres dispositius que fan d'enllaç entre les diferents parts, ja sigui distribuint, amplificant i regenerant els senyals, o bé encaminant les comunicacions cap a la seva destinació.

Són dispositius de xarxa els següents:

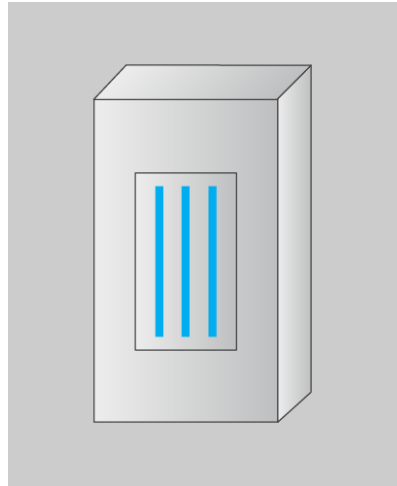
- Repetidors
- Concentradors
- Ponts
- Commutadors
- Encaminadors

Repetidors

Un repetidor és un dispositiu que quan els senyals abandonen un terminal són nets i la informació que contenen és fàcilment identificable. Però en desplaçar-se pel medi, degut a les característiques i l'ambient per on transcorre el medi, el senyal es debilita i es deteriora a causa de la distància i la influència de senyals pertorbadors ambientals. La missió fonamental d'un repetidor és tornar el senyal present en una de les dues interfícies als seus valors primitius, amplificant i reconstruint el

senyal original, i transmetre'l per l'altra interfície. A la figura 1.2 podeu veure un exemple d'un símbol d'un repetidor.

FIGURA 1.2. Repetidor

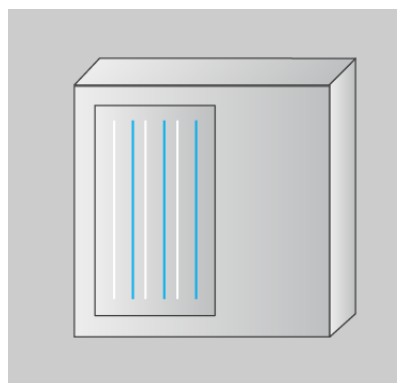


Símbol d'un repetidor en el programa Packet Tracer

Concentradores

Les característiques d'un concentrador (també anomenat *HUB* o *repetidor multiport*) són semblants a les d'un repetidor, però a diferència d'aquest disposa de múltiples interfícies, de tal manera que en cada una hi pot haver un dispositiu connectat. La seva missió fonamental és transmetre el senyal present en una de les interfícies per totes les altres interfícies, i tornar al mateix temps el senyal als seus valors primitius. Amb aquests dispositius es poden comunicar un conjunt de dispositius terminals entre ells i configurar una xarxa de grup de treball. A la figura 1.3 podeu veure un exemple d'un símbol d'un concentrador.

FIGURA 1.3. Concentrador



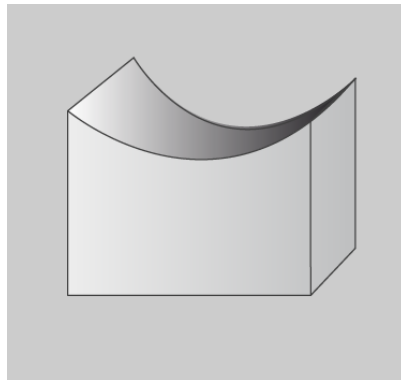
Símbol d'un concentrador en el programa Packet Tracer

Ponts

Un pont (en anglès *bridge*) és un dispositiu que s'utilitza per segmentar una xarxa local, de tal manera que el pont deixa passar la informació d'un segment a l'altre només si aquesta informació està destinada a un terminal d'aquest altre segment, això s'aconsegueix interpretant la part de la informació on hi ha consignada la

destinació, i mantenint la informació necessària per saber quin terminal o quins terminals destinació hi ha connectats a cada interfície. A la figura 1.4 podeu veure un exemple d'un símbol d'un pont.

FIGURA 1.4. Pont

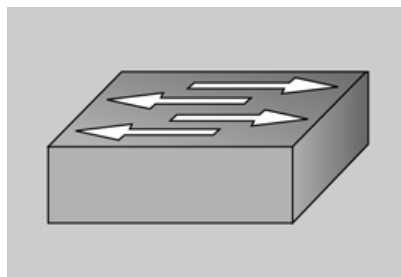


Símbol d'un pont en el programa Packet Tracer

Commutadors

Un commutador (en anglès *switch*) és un dispositiu semblant a un concentrador (*HUB*) que gestiona la comunicació entre diferents dispositius terminals, però que en lloc de retransmetre per totes les interfícies un senyal rebut per una d'elles, només la transmet per la interfície on hi ha el terminal destinació. Això s'aconsegueix, igual que en el cas del pont, interpretant la part de la informació on hi ha consignada la destinació, i mantenint la informació necessària per saber quin terminal o terminals destinació hi ha connectats a cada interfície. A la figura 1.5 podeu veure un exemple d'un símbol d'un commutador.

FIGURA 1.5. Commutador



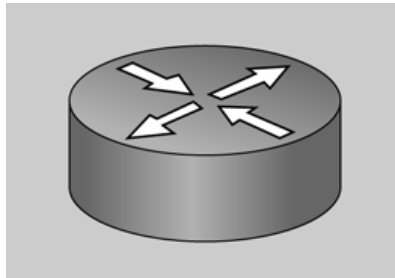
Símbol d'un commutador en el programa Packet Tracer

Encaminadors

Un encaminador (en anglès *router*) és un dispositiu que permet interconnectar entre elles dues xarxes o més, dirigint la informació d'una xarxa a una altra xarxa des d'on es pugui accedir al dispositiu terminal destinació. Això s'aconsegueix interpretant la part de la informació on hi ha consignada l'adreça de xarxa del terminal destinació. Els encaminadors es comporten com si fossin commutadors entre xarxes a partir de les adreces de xarxa davant les adreces de dispositiu que usen els commutadors. A més, els encaminadors poden prendre decisions a propòsit de quin és el millor camí per a la distribució de dades per la xarxa. A

la figura 1.6 podeu veure un exemple d'un símbol d'un encaminador.

FIGURA 1.6. Encaminador



Símbol d'un encaminador en el programa Packet Tracer

1.2.4 Programari

Les primeres xarxes de computadores es dissenyaren tenint el maquinari com a punt principal i el programari com a secundari. Això ja no funciona i actualment el programari de xarxes està altament estructurat.

El programari estarà estructurat per capes o nivells i implementarà els protocols, les regles que fixen com dur a terme correctament la comunicació entre els terminals d'una xarxa. Normalment aquest programari necessari per dur a terme la comunicació serà responsabilitat del sistema operatiu que també serà l'encarregat de configurar el sistema receptor/emissor (adaptador de xarxa) del terminal.

Per altra banda quan useu la xarxa, o algun dels seus serveis, fareu ús d'aplicacions que es comunicaran amb el sistema operatiu per fer les tasques de comunicar-se per la xarxa. Skype, per exemple, us permet fer trucades de veu a través d'una xarxa.

1.3 Classificació de les xarxes

Per tal de tenir una idea clara tant de les propietats com de les restriccions de les xarxes, cal fer-ne una classificació segons diferents aspectes:

- de funcionament i tecnologia
- el seu abast, és a dir, la seva extensió geogràfica
- la seva configuració física, és a dir, la topologia
- les relacions entre els seus components, o dit d'una altra manera, el seu ús.

1.3.1 Per l'abast

La localització geogràfica de la xarxa informàtica és un factor important a l'hora de dissenyar i de instal·lar correctament la xarxa d'ordinadors. La localització geogràfica té en compte la distància que hi ha entre els ordinadors o hostes que intercanviaran informació. Segons la extensió geogràfica es poden trobar diferents tipus de xarxes.

Segons l'**abast** de les xarxes, es poden distingir diferents tipus bàsics:

1. **Sistema** (clúster): un **clúster** és una associació d'ordinadors interconnectats per mitjà d'una xarxa de connexions molt curtes que actuen com una sola unitat.
2. **LAN** (*local area network*, xarxa d'àrea local): són xarxes que abasten una sala, un edifici o un conjunt d'edificis propers, amb unes distàncies de fins a pocs quilòmetres que comprenen una oficina, una empresa, una escola o una universitat, encaminades fonamentalment a compartir recursos i intercanviar informació.
3. **MAN** (*metropolitan area network*, xarxa d'àrea metropolitana): és una versió en gran d'una xarxa d'àrea local. Comprèn un grup d'oficines properes o una ciutat. Una xarxa d'àrea metropolitana pot transportar veu, dades i possiblement senyal de televisió per cable. No acostuma a tenir elements intermedis de commutació, per tant el seu disseny és molt sovint força senzill.
4. **WAN** (*wide area network*, xarxa d'àrea àmplia): s'estén per una àrea geogràfica estesa, un país o un continent, està composta per subxarxes d'ordinadors, terminals de xarxa i dispositius de commutació, interconnectats mitjançant línies de transmissió, anomenats també **circuits**, **canals** o **troncals**. Els elements de commutació són ordinadors especialitzats que connecten dues o més línies de transmissió. Quan les dades arriben per la línia d'entrada l'element de commutació ha de triar la línia de sortida més adequada perquè les dades arribin a la subxarxa destinació. Aquests ordinadors reben el nom de **nodes commutadors**, **sistemes intermedis** o **centrals de commutació de dades**.
5. **Internet** és una xarxa pública, descentralitzada i global d'ordinadors, formada per la interconnexió de diferents xarxes. De fet, és una xarxa de xarxes d'abast intercontinental, és a dir, planetària.

1.3.2 Configuració física (topologies)

Les xarxes d'ordinadors poden tenir diferents tipus d'enllaç o cablejat que interconnecta els diferents nodes d'una xarxa, així com els camins utilitzats per a la

Node

Un node és un dispositiu connectat a una xarxa, que o bé és un punt terminal o bé és un punt intermedi. Habitualment és un ordinador.

transmissió de dades. Un node donat pot tenir enllaços a un dels altres nodes o a més d'un. Per tant hi ha diferents configuracions.

Es coneix com a **topologia de xarxa** la manera com estan connectats els diferents dispositius de xarxa. La topologia descriu la configuració de la xarxa.

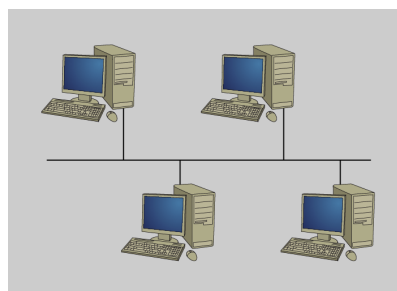
La topologia de la xarxa es determina només per la configuració de les connexions entre nodes. Les distàncies entre nodes, les interconnexions físiques, les velocitats de transmissió i/o tipus de senyals no tenen importància a l'hora de definir la topologia. Si una xarxa utilitza diferents tipus de topologies s'anomena **mixta**.

Una **topologia** defineix com estan connectats els dispositius terminals de xarxa. És a dir, una topologia de xarxa descriu la disposició dels medis i els dispositius, i també les rutes o camins utilitzats per a les transmissions de dades.

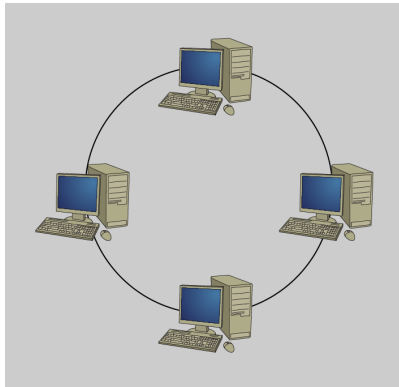
Les xarxes poden tenir una topologia lògica i una topologia física. La **topologia física** fa referència a la disposició física dels dispositius i els medis de xarxa, mentre que la **topologia lògica** fa referència a quin és el model d'accés dels dispositius als medis per transmetre les dades. Els models següents són els models de topologies bàsics:

- **Xarxa en bus** (figura 1.7) és una topologia de xarxa en què els nodes comparteixen el medi i/o un dispositiu multipunt i que generalment utilitzen la tecnologia de difusió.

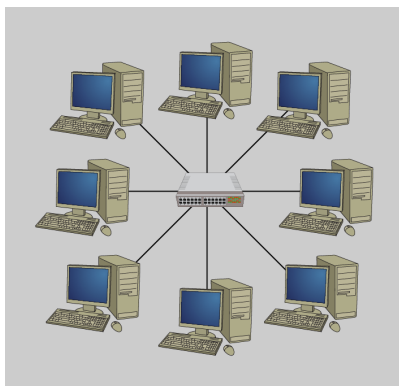
FIGURA 1.7. Xarxa en bus



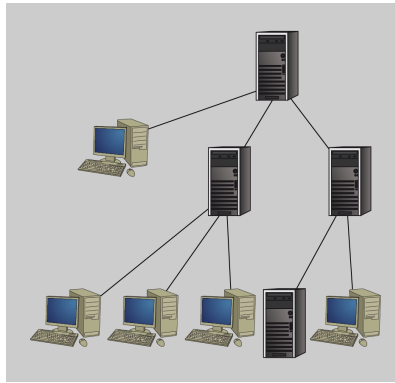
- **Xarxa en anell** (figura 1.8) és una topologia de xarxa en què cada node està connectat a una connexió punt a punt amb els dos nodes adjacents, fins a l'últim, que és connectat al primer. Així es forma un camí unidireccional o bidireccional tancat, de tal manera que la informació ha de circular en un sentit (o en l'altre) passant pels nodes intermedis per tal d'arribar de l'origen a la destinació. La topologia lògica emprada habitualment en xarxes en anell es pot simular en una topologia física en bus o en estrella.

FIGURA 1.8. Xarxa en anell

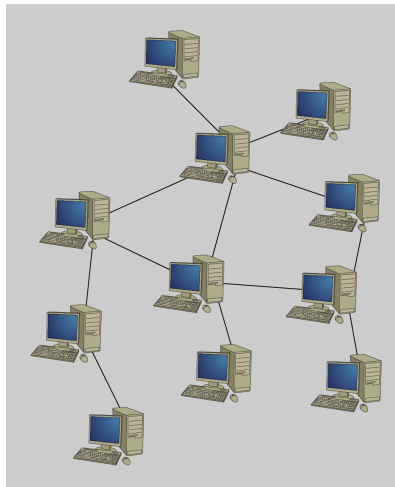
- **Xarxa en estrella** (figura 1.9) és una topologia de xarxa en què cada node està connectat a un node central o bé a un commutador mitjançant enllaços punt a punt, que actua d'encaminador per transmetre els missatges entre els nodes de la xarxa. És a dir, tota la informació ha de passar forçosament per l'element central de l'estrella. Tot i que físicament les connexions de cada node amb l'element central són punt a punt, la majoria de xarxes d'aquest tipus utilitza la tecnologia de difusió.

FIGURA 1.9. Xarxa en estrella

- **Xarxa en arbre o jeràrquica** (figura 1.10) és una topologia de xarxa en què un node pot tenir altres nodes subordinats que, al seu torn, poden tenir altres nodes subordinats, i ell mateix pot ser subordinat d'un altre de superior. La comunicació en aquests casos s'efectua d'un node cap a un dels seus subordinats que o bé és la destinació o bé és un node superior de la destinació, i a l'inrevés, la comunicació es pot fer cap a un node superior que o bé és la destinació o bé és un superior de la destinació.

FIGURA 1.10. Xarxa en arbre

- **Xarxa en malla** (figura 1.11) és una topologia de xarxa en què cada node està interconnectat amb un o més nodes mitjançant enllaços punt a punt, de tal manera que sempre hi ha almenys un camí per anar d'un node qualsevol a un altre. Els nodes disposen de programari i d'informació d'encaminament per tal de prendre decisions sobre quin és el millor camí per arribar al node destinació. Aquest camí pot dependre del cost dels salts que s'han de fer, de la velocitat de l'enllaç, de la saturació o de qualsevol altre paràmetre.

FIGURA 1.11. Xarxa en malla

Aquests models de topologies són els models bàsics, en la realitat, però, hi ha models híbrids o estesos d'aquestes topologies, per exemple un ordinador que forma part d'una xarxa en malla pot formar part al mateix temps d'una xarxa en anell.

Tecnologia

Es pot fer una diferenciació per la **tecnologia** emprada per a la transmissió de dades i segons aquesta tecnologia es poden distingir dos tipus bàsics:

1. **Les xarxes de difusió.** Els paquets que envia un dels terminals són rebuts per tots els altres. En rebre un paquet, un terminal verifica el

camp del destinatari. Si el paquet és per al terminal, aquest el processa. Si està adreçat a un altre terminal, el descarta. Els sistemes de difusió tenen la possibilitat d'enviar un paquet de dades a totes les destinacions, això s'aconsegueix posant un codi especial en el camp d'adreça. Quan un terminal rep un paquet amb aquest codi, el processa. Aquesta mena d'operació, s'anomena **difusió** (*broadcasting*). També hi ha sistemes de difusió que comprenen la transmissió del mateix paquet només a un grup de terminals, aquesta operació es coneix com a **multidifusió** o **difusió selectiva** (*multicast*). Normalment aquest tipus de difusió s'aconsegueix afegint una marca especial a l'adreça del paquet, i a l'adreça s'hi posa la del grup de terminals.

2. **Les xarxes punt a punt.** Moltes vegades, en les xarxes punt a punt, hi ha múltiples camins possibles per anar d'un ordinador origen a un ordinador destinació. Aquests ordinadors tenen un programari especial d'encaminament de paquets que tria el camí més adequat per transmetre el paquet. Tot i que hi ha moltes excepcions, per regla general, les xarxes petites usen la difusió, mentre que les xarxes més grans acostumen a emprar les connexions punt a punt.

La característica més important de les **xarxes de difusió** és que només tenen un canal de comunicació compartit per tots els terminals de la xarxa. Les xarxes **punt a punt** consisteixen en moltes connexions entre parelles úniques d'ordinadors. Per anar d'un ordinador origen a un altre ordinador destinació, un paquet de dades cal que visiti una certa quantitat d'ordinadors intermedis.

Superordinador Mare Nostrum

Un exemple de xarxa sistema és la del superordinador Mare Nostrum del Centre de Supercomputació de Barcelona (BSC) al Campus Nord de la Universitat Politècnica de Catalunya.

1.3.3 Relacions

Un altre aspecte de les xarxes informàtiques és el tipus d'ús que en fan els ordinadors que hi estan connectats. Defineix, per tant, el sistema de comunicació entre ordinadors. Els tipus de relacions poden ser les següents:

- **Client-servidor.** La relació client-servidor és la que s'estableix entre dues entitats, el servidor, que és un sistema que proporciona serveis o recursos de qualsevol tipus (per exemple, dades o espai de disc) a un altre sistema, i el client, perquè en tregui un profit o un avantatge. El més habitual és que d'un servidor se'n aprofitin diversos clients.
- **Entre iguals.** Una relació d'igual a igual (*peer to peer* o P2P en anglès) defineix un sistema de comunicació que no té clients ni servidors fixos, sinó que cada un dels sistemes implicats es comporta alhora com a client i com a servidor del mateix tipus de servei o recurs. Aquest model contrasta amb el model client-servidor.

- **Col·laborativa.** Una relació col·laborativa és un sistema de comunicació que es dona quan els diferents ordinadors que fan ús de la xarxa la utilitzen per intercanviar informació referida a una tasca comuna, a què cada un dels sistemes aporta les seves capacitats per obtenir un sistema coordinat que actua com una sola unitat.

1.4 Protocols, serveis i arquitectures

La comunicació entre dues màquines és vista com la divisió de tasques en capes. On cada capa proporciona serveis a la seva capa superior. Un mateix nivell d'una capa ha d'estar a les dues màquines que es connecten.

Un **protocol** de comunicacions és el conjunt de regles normalitzades per a la representació, senyalització, autenticació i detecció d'errors necessari per enviar informació mitjançant un canal de comunicació.

En aquest cas els protocols de comunicació per la comunicació per a xarxes de computadores tenen característiques destinades a assegurar un intercanvi de dades fiable a través d'un medi de comunicació imperfecte. Els protocols de comunicació segueixen certes normes per assegurar que el sistema funciona perfectament. Els protocols regulen la comunicació entre capes d'un mateix nivell a diferents *hosts*. Els aspectes que defineixen un protocol són:

- **Sintaxi:** estableix qüestions relacionades amb el format del blocs de dades.
- **Semàntica:** inclou informació de control per la coordinació i la gestió d'errors.
- **Temporització:** considera aspectes relatius a la sintonització de velocitats i seqüencialització.

L'arquitectura és la composició, estructura, manera com són encaixades i distribuïdes les diverses parts d'un organisme o d'una obra.

En el cas d'una xarxa d'ordinadors l'arquitectura estructura com serà la comunicació entre dos ordinadors, com seran les capes. N'hi ha:

- **Arquitectura de protocols:** és el conjunt de protocols de les capes en general.
- **Arquitectura de protocols simple:** el mòdul de transferència d'arxius conté tota la lògica i funcionalitats que són exclusives de l'aplicació. El mòdul de servei de comunicacions tracta d'assegurar que els dos ordinadors estiguin actius i preparats per a la transferència de dades. El mòdul d'accés a la xarxa és la lògica encarregada de tractar amb la xarxa.

Un **servei** és el conjunt d'eines i utilitats que són proveïts.

En el cas d'una xarxa d'ordinadors els serveis són aquelles eines, funcionalitats de què una capa dota a una altra.

Les persones generalment busquen enviar i rebre diferents tipus de missatges a través d'aplicacions informàtiques; aquestes aplicacions necessiten serveis per funcionar en la xarxa. Alguns d'aquests serveis engloben World Wide Web, correu electrònic, missatgeria instantània i telefonia IP. Els dispositius interconnectats a través de medis per proporcionar serveis han d'estar governats per regles o protocols. En la taula 1.1 s'enumeren alguns serveis i un protocol vinculat de manera més directa amb aquests serveis. A mode d'exemple veieu la taula següent:

TAULA 1.1. Serveis i protocols

Servei	Protocol (o regla)
World Wide Web (WWW)	HTTP (<i>hypertext transport protocol</i> , protocol per a la transferència d'hipertext)
E-mail	SMTP (<i>simple mail transport protocol</i> , protocol per transportar correu electrònic simple) POP (<i>post office protocol</i> , protocol de recollida de correu electrònic)
Missatge instantani: Jabber, AIM (<i>AOL instant messenger</i> , missatgeria instantània de l'empresa AOL)	XMPP (<i>extensible messaging and presence protocol</i> , protocol lliure de missatgeria instantània) OSCAR (<i>open system for communication in realtime</i> , sistema obert per a la comunicació en temps real)
Telefonia IP (<i>Internet protocol</i> , protocol d'Internet)	SIP (<i>session initiation protocol</i> , protocol d'inici de sessió)

1.5 Sistemes de numeració

Els sistemes digitals, com per exemple l'ordinador, usen lògica de dos estats representats per dos nivells de tensió elèctrica, un alt, H (*High*) i un altre baix, L (*Low*). Per abstracció, aquests estats se substitueixen per zeros i uns, cosa que facilita l'aplicació de la lògica i l'aritmètica binària. Si el nivell alt es representa per 1 i el baix per 0, es parla de lògica positiva i, en cas contrari, de lògica negativa.

1.5.1 Numeració ponderada

Un **sistema de numeració** permet representar i operar amb dades de significació numèrica, amb uns símbols i unes regles determinades.

Un **sistema de numeració** és el conjunt dels símbols i les normes que s'utilitzen per a la representació de la informació numèrica. En tot sistema de numeració hi ha una **base** del sistema que indica el nombre de símbols que es poden utilitzar en aquest sistema. La notació és: *nombre*(base).

Hi ha els sistemes de numeració decimal, binari, octal, hexadecimal, romà, etc. Els quatre primers es caracteritzen per tenir una base (nombre de dígitos diferents: 10, 2, 8 i 16, respectivament), mentre que el sistema romà no té base i resulta més complicat utilitzar-lo tant amb nombres com en les operacions bàsiques (sumes, restes, multiplicacions i divisions).

Els sistemes de numeració que tenen una base tenen la característica de complir la **notació posicional**, és a dir, la posició de cada nombre hi dona un valor o pes, on cada posició té una ponderació depenent de la base en què estigui representat el nombre.

Un sistema de numeració de base n significa que hi ha n dígitos per escriure els nombres (des de 0 fins a $n - 1$) i que n unitats formen una unitat d'ordre superior. Així, en el sistema decimal (en base 10) els dígitos per escriure van des del 0 fins al 9 (10 símbols). En comptar i quan s'arriba a 9 unitats, en afegir-ne 1 s'obté una unitat de segon ordre o desena, es posen les unitats a zero i es continua el cicle comptant per les unitats, quan es torna a arribar al 9 s'afegeix 1 a les desenes i es torna a posar les unitats a zero. Es continua així fins a arribar a 99 i en afegir-ne 1 es forma una nova desena, que unida a les nou que hi ha forma una centena. I així, successivament, per als milers, les desenes de miler...

En el sistema de numeració binari (base 2) totes les quantitats es representen utilitzant com a base dues xifres: zero i un (0 i 1). En binari dos unitats formen una unitat d'ordre superior. Comptant en aquest sistema 0, 1, en afegir 1 s'obté una unitat d'ordre superior i les unitats a 0, és a dir 0, 1, 10, es continua comptant 0, 1, 10, 11, en afegir una unitat les unitats passen a dos i formen una unitat de segon ordre, i com ja n'hi ha una, n'hi ha dues, amb la qual cosa es forma una unitat de tercer ordre o 100, i així successivament.

1.5.2 De decimal a binari

Molt sovint és necessari passar un valor que està representat en base 10 (decimal) a base 2 (binari). Per fer-ho es pot aplicar el mètode de les divisions successives.

Hi ha diversos mètodes per passar un nombre de base 10 a qualsevol altra base, un és el de les **divisions successives per la base**. Es tracta d'anar dividint el nombre i els quocients successius per la base fins que es troba un quocient més petit que el divisor (base). La unió de tots els residus obtinguts escrits en ordre invers i de l'últim quocient dona el resultat buscat.

Exemple de passar de binari a decimal

Vegeu que $23_{(10)} = 10111_{(2)}$.

Per a fer-ho es realitzen les divisions successives per la base 2:

1. $\frac{23}{2} = 11, \text{resta} = 1$
2. $\frac{11}{2} = 5, \text{resta} = 1$
3. $\frac{5}{2} = 2, \text{resta} = 1$
4. $\frac{2}{2} = 1, \text{resta} = 0$

Ara es posa l'últim quocient seguit de tots els residus (les restes) en ordre invers:

$$10111_{(2)}$$

S'aconsegueix així el valor.

Hi ha també un altre mètode per fer-ho, és més ràpid que l'anterior, això si té com a requisit que s'ha de conèixer els diferents valors que té el resultat de la potència de dos. Es tracta de descomposar el nombre decimal en una suma de potències de dos, prenent l'exemple anterior

$$23 = 2^4 + 2^2 + 2^1 + 2^0$$

un cop descomposat en suma de potències de dos les potències presents es converteixen en 1 i les no presents en 0:

$$23 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

Recordeu que el 23 en binari és 10111.

Per realitzar aquest mètode es parteix de la potència de dos just menor al nombre que es vol passar a binari 2^e . Aquesta potència s'ha de sumar al valor que hi ha acumulat (inicialment 0), si el valor acumulat és menor o igual al nombre que es vol convertir aleshores la xifra és un 1 i aquest valor acumulat es; en cas contrari un 0 i el valor acumulat segueix amb el mateix valor que el pas acumulat. El següent pas és decrementar l'exponent en 1 i fer el mateix procés i així fins arribar a l'exponent 0. Aleshores totes les xifres obtingudes, en l'ordre obtingut, conformen el nombre binari que es cercava.

Exemple de passar de decimal a binari

Vegeu un exemple per deixar-ho més clar, voleu passar 172 a binari, partiu de la potència 2^7 de valor 128 i els passos del canvi de base són:

TAULA 1.2.

Exponent	Valor acumulat	Acumulat <= 172	Acumulat propagat	Xifra
7	$2^7 = 128$	Si	128	1
6	$128 + 2^6 =$ $128 + 64 = 192$	No	128	0
5	$128 + 2^5 =$ $128 + 32 = 160$	Si	160	1
4	$160 + 2^4 =$ $160 + 16 = 176$	No	160	0

3	$160 + 2^3 =$ $160 + 8 = 168$	Si	168	1
2	$168 + 2^2 =$ $168 + 4 = 172$	Si	172	1
1	$172 + 2^1 =$ $172 + 2 = 174$	No	172	0
0	$172 + 2^0 =$ $172 + 1 = 173$	No	172	0

Per tant com a resultat: **10101100**.

1.5.3 De binari a decimal

Teorema fonamental de la numeració

El teorema fonamental de la numeració descriu que el valor decimal d'una quantitat expressada en altres sistemes de numeració està expressada segons el polinomi següent: $\dots + X \cdot B^3 + X \cdot B^2 + X \cdot B^1 + X \cdot B^0$. On el símbol B representa la base i X són els dígit del nombre.

Tot nombre es pot convertir a sistema decimal, utilitzant el **teorema fonamental de la numeració**.

Per passar de binari a decimal, cal aplicar la ponderació a cada un dels dígit que formen el valor binari.

Exemple de pas de decimal o binari

Vegeu que $10111^2 = 23^{10}$.

$$1 \cdot 2^4 = 1 \cdot 16 = 16$$

$$0 \cdot 2^3 = 0 \cdot 8 = 0$$

$$1 \cdot 2^2 = 1 \cdot 4 = 4$$

$$1 \cdot 2^1 = 1 \cdot 2 = 2$$

$$1 \cdot 2^0 = 1 \cdot 1 = 1$$

Ara es fa la suma $16 + 0 + 4 + 2 + 1 = 23^{10}$. S'obté així el valor.

2. Arquitectures de xarxa

La descripció total del procés de la comunicació per xarxa és força complexa si s'entén com un tot. Amb aquest punt de vista es presenten diferents maneres de descriure els processos de comunicació, els anomenats *models de xarxes*.

Aquests models de xarxes són el resultat de pensar, de centrar esforços, en el disseny de les xarxes, i aquest procés és el que denominen l'**arquitectura** de xarxa.

2.1 Necessitat d'arquitectura

Per què necessita la informàtica una arquitectura? Per resoldre aquesta qüestió us heu de fixar amb l'evolució històrica de la informàtica. Als inicis de la informàtica el disseny d'un ordinador resultava en si mateix una tasca tan complexa que no es considerava la compatibilitat amb altres models d'ordinadors; la preocupació fonamental era que el disseny fos correcte i eficient. Per tant era necessari crear per a cada nou model d'ordinador un nou sistema operatiu i un conjunt de compiladors. Els programes escrits en llenguatge màquina o en ensamblador (que aleshores eren la majoria) havien de ser pràcticament per a cada nou model d'ordinador.

L'any 1964 l'empresa d'informàtica **IBM** (en anglès *international business machines*) va anunciar un nou ordinador anomenat *Sistema/360*. Es tractava en realitat d'una família d'ordinadors formada per diferents models que compartien una **arquitectura comuna** (fou la primera vegada que s'utilitzava aquest terme relacionat amb els ordinadors). L'arquitectura establia unes especificacions comunes que feien compatibles tots els models de la família (conjunt d'instruccions, forma de representar les dades, etc.), i així es podien executar els mateixos programes, utilitzar el mateix sistema operatiu, compiladors, etc., en tota la família. Aquesta constava d'un conjunt d'ordinadors de potències i preus diversos. El nom 360 es va triar tenint en compte la dècada en què es creà (els anys 60) i a la idea que era una arquitectura polivalent, que pretenia servir per a aplicacions de tot tipus (360°, és a dir, pot anar en totes les direccions).

L'arquitectura 360 ha anat evolucionant fins desembocar els nostres dies en l'arquitectura **ESA/390** (en anglès *enterprise systems architecture/390*, sistema d'arquitectura per empreses/390), utilitzada en els grans ordinadors IBM (*mainframes*, ordinadors centrals) actuals, que encara són la base de les aplicacions crítiques en grans empreses (bancs, línies aèries, etc.).

Tots els fabricants d'ordinadors actuals utilitzen una o diverses arquitectures com a base per al disseny dels seus equips. Per tant, es va plantejar l'arquitectura per aprofitar programes, sistemes operatius d'un model antic respecte a un de nou i per ordenar el disseny dels ordinadors.

El **llenguatge màquina** és programar un ordinador introduint-hi valors binaris que corresponen a les instruccions i dades a usar. És el primer llenguatge de programació que es va usar.

El **llenguatge ensamblador** és un llenguatge a baix nivell, en el que es programa un ordinador usant el conjunt d'instruccions bàsiques que pot implementar un processador concret. De fet és una representació textual del codi màquina.

Pel que fa a les xarxes va passar un fenomen similar, atès que les primeres xarxes d'ordinadors tingueren uns inicis molt similars als primers ordinadors. Les xarxes i els protocols es dissenyaven pensant en el maquinari a utilitzar en cada moment, el moment actual, sense tenir en compte l'evolució previsible, ni per suposat la interconnexió i compatibilitat amb equips d'altres fabricants (segurament molts creien que ja era prou feina aconseguir que les coses funcionessin amb els seus propis equips). Però penseu com ha evolucionat tot, ja que ara estan tots connectats a la mateixa xarxa (Internet), i això dóna la idea de la importància del concepte de l'arquitectura. Bé, a mesura que la tecnologia avançava i es millorava la xarxa es visqueren experiències semblants a les dels primers ordinadors (la història es torna a repetir): els programes de comunicacions, que havien costat molt d'esforç de desenvolupament, havien de ser reescrits per utilitzar-los amb el nou maquinari, i degut a la poca modularitat no es podia aprofitar pràcticament res del codi.

El problema es resolgué de manera anàloga al que s'havia fet amb els ordinadors. Cada fabricant va elaborar la seva pròpia arquitectura de xarxa, que permetia independitzar les funcions i el *software* (programari) del *hardware* (maquinari) concret utilitzat. Era el primer pas cap a la modularització. D'aquesta manera quan es volia canviar algun component només calia substituir la funció o el mòdul afectat. La primera arquitectura de xarxes fou anunciada per IBM l'any 1974, just deu anys després d'anunciar l'arquitectura S/360, i es va denominar **SNA** (*systems network architecture*, sistemes d'arquitectura de xarxa), que era una arquitectura dissenyada per nivells o capes.

2.2 Arquitectura per capes

L'arquitectura SNA (*systems networks architecture*) es basa en la definició de set nivells o capes, cada una de les quals ofereix una sèrie de serveis a la següent, la qual es recolza en aquesta per implementar els seus, i així successivament. És el fonament d'una arquitectura per capes. Cada capa pot implementar-se en maquinari, programari o una combinació d'ambdós.

El mòdul (*hardware*, maquinari i/o *software*, programari) que implementa una capa en un determinat element de la xarxa ha de ser substituïble sense que afecti la resta, sempre que el protocol utilitzat es mantingui inalterat.

Dit en altres paraules, SNA és una arquitectura altament modular i estructurada. Aquest model de capes jerarquitzades ha estat la base de totes les arquitectures de xarxa actualment en ús, incloses les basades en el model **OSI** (*open system interconnection*, sistema obert d'interconnexió) i el **TCP/IP** (*transmission control protocol/Internet Protocol*, protocol de control de transmissió).

2.2.1 Capes

A continuació definirem què és una capa i com es relacionen entre elles.

Una **capa** és cada un dels diferents nivells independents en què està estructurada l'arquitectura de xarxa.

Les idees bàsiques del model de capes són les següents:

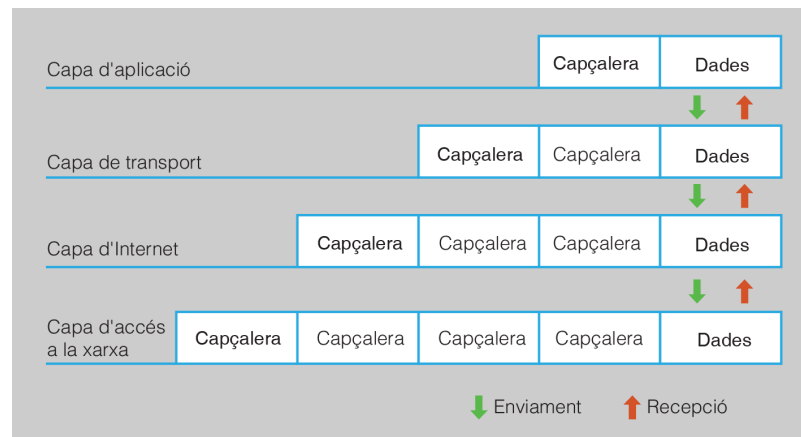
- La capa n ofereix una sèrie de serveis a la capa $n + 1$.
- La capa n només veu els serveis que li ofereix la capa $n - 1$.
- La capa n en un determinat sistema només es comunica amb la seva homòloga en el sistema remot (comunicació d'igual a igual o *peer-to-peer*). Aquesta conversa s'efectua d'acord a una sèrie de regles conegudes com *protocol de la capa n*.

El conjunt de protocols que utilitza una determinada arquitectura en totes les seves capes es denomina **pila de protocols** (*protocol stack* en anglès); així és freqüent escoltar parlar de la pila de protocols OSI, SNA, TCP/IP o **DECNET** (acrònim de *digital equipment corporation* o paquet de protocols de l'empresa), per exemple:

Quan un sistema desitja enviar un missatge a un sistema remot normalment la informació es genera en el nivell més alt; conforme va descendint es produeixen diverses transformacions, per exemple addició de capçaleres, de cues, d'informació de control, la fragmentació en paquets més petits si és molt gran (o més estranyament la fusió amb altres si és massa petit), etc. Totes aquestes operacions s'inverteixen en el sistema remot en les capes corresponents, i s'arriba en cada cas a la capa corresponent en el destí amb un missatge igual a l'original.

2.2.2 Encapsulació

La informació a transmetre es va intercanviant entre les capes. Aquest intercanvi entre dues capes consisteix en què a l'origen cada capa afegeix a la informació a transmetre la seva informació de control, i cada capa en el destí analitza i extreu la informació de control. Per exemple, si un ordinador (*host* origen) vol enviar les dades a un altre (*host* destí), el primer que es fa és empaquetar les dades, i a mesura que aquestes dades es van propagant entre les capes, se'ls van afegint capçaleres (informació de control) en cada capa. Quan aquesta informació arriba al destí, les capçaleres de control s'extreuen a mida que la informació va passant per les capes fins arribar a proporcionar les dades finals a l'usuari. A la figura 2.1, es mostra un esquema de com les dades al transitar per les diverses capes se'ls va afegint la informació de control.

FIGURA 2.1. Exemple visual d'encapsulament

Aquest procés d'anar empaquetant les dades i que cada capa afegeixi la seva informació de control (les capçaleres) s'anomena **encapsulació**.

2.2.3 Serveis i protocol

En una arquitectura de capes hi ha una comunicació entre elles, oferint o rebent serveis. Per altra banda, aquesta comunicació estarà fixada per unes normes, que és el **protocol**.

Un **servei** és el conjunt de funcionalitats, eines o operacions que subministra una capa a una altra. Per tant, una capa podrà usar els serveis de les seves capes consecutives.

Interfície

És la definició de quines operacions i serveis posa la capa de sota a disposició de la capa superior immediata. És important, en fer el disseny d'una arquitectura, definir correctament les interfícies ja que aquestes ajuden a minimitzar la quantitat d'informació que es passi entre capes consecutives i si estan ben definides simplifiquen molt el procés de canvi d'una capa per una altra, en el cas que s'hagi de canviar.

El sistema operatiu s'encarregarà de definir una interfície de programari definida entre capes per poder usar els serveis de les capes consecutives.

Serveis orientats i no orientats a connexió

En una arquitectura de xarxes cada capa utilitza els serveis de la capa immediata inferior per comunicar-se amb la corresponent de l'altre extrem. En funció de com s'estableixi aquesta comunicació es distingeixen dos tipus de serveis: *orientats a connexió* i *no orientats a connexió*.

El **CONS** (*Connection Oriented Network Service*, servei orientat a connexió) primer s'estableix el canal de comunicació, després es transmeten les dades, i al final s'acaba la connexió. Aquesta connexió s'anomena **VC** (*virtual circuit*, circuit virtual). Una vegada establert el VC, el camí físic que seguiran les dades està determinat; els paquets han d'anar tots per ell des de l'origen al destí, i arribar en el mateix ordre amb el qual han sortit. Donat que el VC estableix de manera clara el destí, els paquets no necessiten incloure la seva adreça.

En el **CLNS** (*ConnectionLess Network Service*, servei no orientat a connexió) la comunicació s'estableix de manera menys formal. Quan una entitat té informació per transmetre senzillament l'envia en forma de paquets, confiant que aquests arribaran al seu destí més d'hora o més tard. No s'estableix prèviament un VC ni cap altre tipus de canal de comunicació extrem a extrem; els paquets poden anar per camins físics diversos, i han d'incloure cada un amb l'adreça de destí. Els paquets poden ser emmagatzemats per nodes intermedis de la xarxa, i reenviats més tard. Encara que el normal és que arribin amb el mateix ordre que han sortit, això no està garantit com succeeix en el servei orientat a connexió degut a aquest emmagatzematge en nodes intermedis i a la diversitat de camins físics possibles.

Generalment s'expliquen aquests models *orientat* i *no orientat a connexió* amb dues analogies: el sistema telefònic i el sistema postal. El sistema telefònic és un exemple de servei orientat a connexió, mentre que el sistema postal és un servei no orientat a connexió. La analogia és bastant exacta tret del fet que en les xarxes telemàtiques la diferència en el temps de lliurament del missatge entre serveis CONS i CLNS no és tan gran com l'anterior comparació podria fer pensar.

Els protocols són regles i procediments per comunicar-se. Quan diversos ordinadors estan en xarxa, les regles i procediments tècnics que governen la seva comunicació i interacció s'anomenen *protocols*, els quals han estat definits perquè sigui possible la transferència fiable i eficaç de la informació.

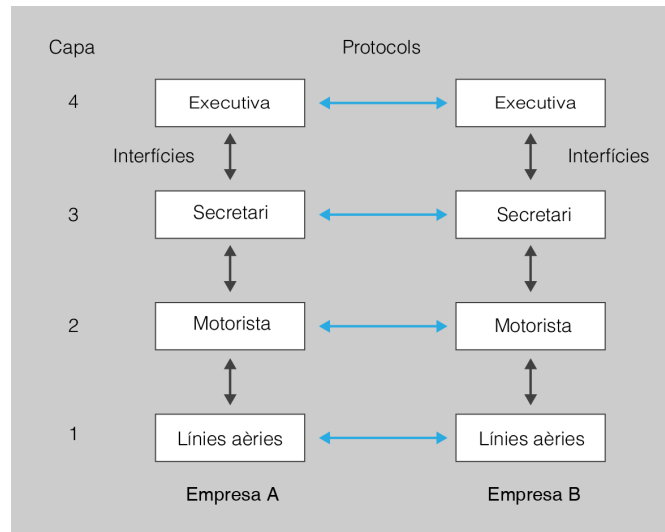
És habitual que els protocols estiguin donats com a normatives o recomanacions de les associacions d'estàndards. Els fabricants que s'ajusten a aquestes normes tenen la seguretat que seran compatibles entre si en els aspectes regulats pel protocol. Amb la finalitat de simplificar la complexitat de qualsevol xarxa, els dissenyadors de xarxes han estructurat les funcions que fan i els serveis que donen en una sèrie de xarxa.

Una definició tècnica de *protocol de comunicacions* és: un conjunt de normes, o un acord, que determina el format i la transmissió de dades. La capa n d'un ordinador es comunica amb la capa n d'un altre. Les normes que es fan servir en aquesta comunicació s'anomenen *protocol de capa n* .

Exemple de funcionament d'un model d'arquitectura de xarxes basat en capes

Per comprendre millor com funciona el model d'arquitectura de xarxes basat en capes fareu una analogia. Per seguir millor aquest exemple vegeu la figura 2.2, on hi ha un esquema del que s'explica a continuació.

FIGURA 2.2. Enviament d'informe urgent



Suposeu que una executiva de l'empresa A desitja enviar de urgentment un informe important a una altra executiva en l'empresa B. Per això parlarà amb ella notificant-li l'enviament i a continuació passarà a la seva secretària l'informe amb les instruccions corresponents. La secretària trucarà al secretari de B per saber la seva adreça exacta, posarà l'informe en un sobre i cridarà a un servei de missatgeria, que enviarà un motorista perquè reculli el paquet i el porti a l'aeroport. Quan el paquet arriba a l'aeroport destinatari és recollit allà per un altre motorista que el porta a l'oficina de l'empresa B i l'entrega al secretari; aquest s'ocuparà dels tràmits administratius (pagar al missatger, obrir el paquet, comprovar el contingut, enviar el justificant de recepció a la secretària de l'empresa A, etc.) i ho passarà després al seu cap, el qui una vegada estudiat l'informe trucarà a l'executiva de l'empresa A.

Observeu que en el procés anterior existeixen diferents nivells clarament diferenciats (capes): les executives, els secretaris, els missatgers (motoristes), i per últim l'empresa de línies aèries que s'ocupa del transport físic de la mercaderia. En tots aquests nivells (excepte probablement el més baix) hi ha dues entitats, la transmissora (A) i la receptora (B). Si tot succeeix segons el previst cada entitat només parlarà amb el seu corresponent de l'altra banda, i amb les seves entitats veïnes, és a dir, el cap de l'empresa A només parla amb el cap de l'empresa B i amb la seva secretària, aquesta parla amb el seu cap, amb el motorista i amb l'altre secretari per confirmar l'enviament, etc. En cap cas es contempla que la secretària d'A parli amb l'executiva de B. Si per exemple la secretària de l'empresa A és substituïda per malaltia els procediments seguiran funcionant, sempre i quan la secretària substituïda desenvolupi la mateixa funció. Les variacions de caràcter

intern només han de ser conegudes per les entitats consecutives; per exemple, el motorista de B podria ser canviat per una furgoneta de repartiment, i aquest fet només ha de ser conegut pel secretari de B i per la persona que lliura els paquets en l'aeroport. Això és el que s'anomena una **interfície**.

Observeu que el model de capes simplifica considerablement la tasca de cada una de les entitats, ja que només ha de preocupar-se d'una petita part de tot el mecanisme. En essència es tracta d'aplicar a la resolució de problemes la vella fórmula de “divideix i conquereix” (lat. *divide et impera*).

2.3 Models de referència

A dia d'avui les dues arquitectures de xarxa més importants són les: OSI i TCP/IP. Habitualment per a cada capa d'una arquitectura existiran un o diversos protocols, i per a cada protocol múltiples implementacions. Les implementacions canvien contínuament; els protocols ocasionalment es modifiquen o n'apareixen altres de nous que coexisteixen amb els anteriors o els deixen obsolets; però un cop definida una arquitectura aquesta roman essencialment intacta i molt estranyament es modifica.

2.3.1 El model OSI

L'organització **ISO** (*International Organization for Standardization*, Organització Internacional per a l'Estandardització), per tal de solucionar els problemes d'incompatibilitat i incapacitat de comunicar-se entre xarxes, deguts a les diferents especificacions i implementacions dels diferents sistemes, va fer a mitjans de l'any 1980 un estudi de l'esquema dels sistemes de xarxes existents, com ara DECnet, SNA i TCP/IP, per tal de trobar un conjunt de normes comunes. Com a resultat de l'estudi, l'ISO va crear un model de xarxa que podia ajudar els fabricants a crear xarxes que fossin compatibles i operables entre elles i amb altres xarxes.

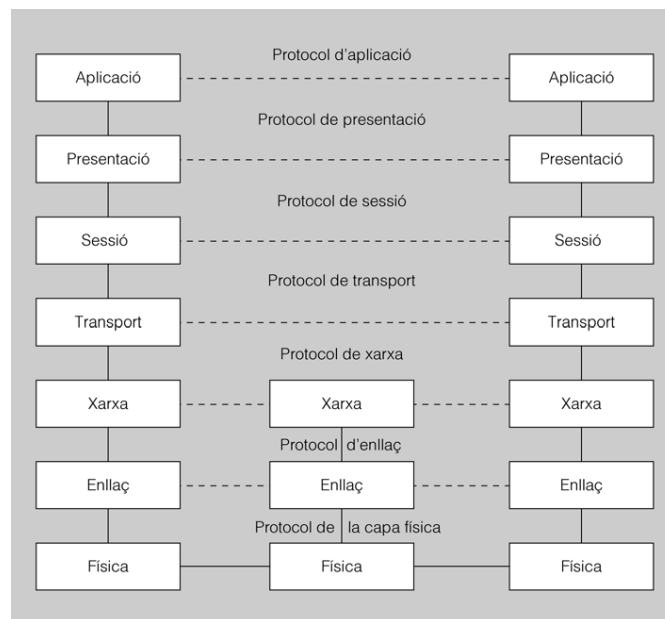
El **model de referència OSI**, llançat l'any 1984, és l'esquema descriptiu que va crear l'ISO. Aquest model proporciona als fabricants un conjunt de normes que faciliten una major compatibilitat i operabilitat entre els diferents tipus de tecnologies de xarxa produïts per diferents empreses de tot el món.

El model de referència OSI defineix les funcions de xarxa de cada capa i configura l'esquelet que ajuda a entendre com viatja i es comporta la informació per la xarxa. A més, ajuda a visualitzar com la informació i els paquets de dades viatgen des de les aplicacions origen (fulls de càlcul, documents...) pels dispositius i els medis de xarxa fins a un altre sistema ubicat en la xarxa que els utilitza, encara que aquest altre sistema tingui diferents tipus de medis d'accés a la xarxa.

Per a cada una de les capes del model de referència OSI hi ha definides un conjunt de normes o característiques que ha de complir, és a dir, cada capa disposa d'un protocol específic per tal de subministrar els serveis que li són encomanats.

El model de referència OSI es defineix en set capes numerades, cada una defineix una funció específica de la xarxa (figura 2.3):

FIGURA 2.3. Capes OSI



- **Capa 1:** capa física.
- **Capa 2:** capa d'enllaç de dades.
- **Capa 3:** capa de xarxa.
- **Capa 4:** capa de transport.
- **Capa 5:** capa de sessió.
- **Capa 6:** capa de presentació.
- **Capa 7:** capa d'aplicació.

Aquesta divisió proporciona els avantatges següents:

- Divideix la comunicació en parts més petites i senzilles.
- Facilita la normalització dels components de la xarxa, amb la qual cosa permet el desenvolupament i el suport de diferents fabricants.
- Permet que diferents tipus de maquinari (*hardware*) i programari (*software*) es comuniquin entre ells.

- Impedeix que els canvis en una capa afectin les altres, cosa que permet un desenvolupament més accelerat.
- Divideix la comunicació de la xarxa en parts més petites i fa més fàcil la seva comprensió.

Funcions de les capes OSI

Cada capa del model OSI té un conjunt de funcions que s'han d'aplicar a un paquet de dades per viatjar des del principi fins a la destinació d'una xarxa.

Per cada capa la informació viatja en els dos sentits, des de la capa superior fins a la capa inferior en l'enviament de dades, i des de la capa inferior fins a la superior en la recepció de dades. Per tant, cada capa subministra serveis complementaris, com a mínim un per cada sentit de la informació que la travessa.

En el sistema emissor, cada capa fa la funció que li és pròpia en la informació que li encomana la capa superior i l'encapsula i l'envia a la capa inferior, afegint-hi la informació específica per a la capa homònima del sistema receptor per tal que aquesta capa pugui retornar a la seva capa superior la informació original.

Capa 1. Capa física

La capa física s'ocupa de la transmissió de bits usant un canal de comunicació, i també de definir les característiques del canal. Regula aspectes de la comunicació com el tipus de senyal (analògica, digital, etc.), l'esquema de codificació, sincronització dels bits, tipus de modulació, tipus d'enllaç (punt a punt, punt a multipunt), el mode de comunicació (dúplex, half-dúplex o símplex), taxa de bits (nombre de bits per segon), topologia usada, i, en general, totes les qüestions elèctriques, mecàniques, senyalització i procediment en la interfície física (cables, connectors, endolls...) entre els dispositius que es comuniquen.

Especifica característiques com els nivells de tensió elèctrica, les freqüències, la velocitat de dades físiques, les distàncies de transmissió, els connectors emprats, tipus de cables o de fibres òptiques o radioenllaços, i altres atributs semblants són especificacions de la capa física.

La **capa física** defineix les especificacions elèctriques, mecàniques, procedimentals i funcionals per activar, mantenir i desactivar l'enllaç físic entre dos terminals.

Aquesta capa especifica estàndards de cables i dispositius, dels primers es troben exemples com els cables 100BaseTX i dels segons es troben el HUB o la targeta Fast Ethernet.

Capa 2. Capa d'enllaç de dades

La capa d'enllaç de dades s'ocupa del direccionament físic, de la topologia de xarxa, de l'accés a la xarxa, de la notificació d'errors, de la distribució ordenada de trames i del control de flux de dades.

La **capa d'enllaç de dades** proporciona un trànsit de dades fiable a través d'un enllaç físic.

Exemples de dispositius d'aquesta capa entre altres són els ponts (*bridges*) i com a exemple de protocols el *Frame Relay* i el *Token Ring*.

Capa 3. Capa de xarxa

La capa de xarxa s'ocupa del direccionament lògic i pot utilitzar diferents protocols, depenent del model de comunicació (IP, IPX, *Apple Talk*..).

En aquesta capa es controla l'encaminament dels paquets de comunicació, és a dir, la selecció de la ruta que seguiran els paquets des del terminal origen fins al terminal destinació.

Com a exemples d'aquesta capa hi ha els dispositius com els encaminadors (*routers* en anglès) i protocols com l'ARP, ICMP o l'IP.

Capa 4. Capa de transport

La capa de transport proporciona un servei de transport de dades independent de les dades que li subministren les capes superiors. La missió fonamental de la capa de transport és aconseguir un transport fiable entre dos terminals independentment de les aplicacions i dels models de comunicació.

Per tal de subministrar un servei fiable, la capa de transport inclou les funcions d'establir, mantenir i finalitzar els circuits virtuals de comunicació, utilitza la detecció i correcció d'errors en el transport, i la informació del control del flux de les dades.

La **capa de transport** segmenta les dades del sistema emissor perquè siguin més fàcilment transportables, i les uneix i reorganitza en el sistema receptor.

Aquesta capa també té les funcions de multiplexar i demultiplexar, que permet dirigir la informació rebuda de la capa de xarxa cap a l'aplicació que ho necessita. A la capa aplicació poden haver-hi diferents processos executant-se, com FTP, HTTP o SSH i la capa transport ho ha de dirigir al procés corresponent.

Un procés pot tenir un o diversos sòcols o *sockets*, per tant la capa de transport

IPX és l'acrònim en anglès d'*internetwork packed exchange* o intercavi de paquets entre xarxes.
IP és l'acrònim en anglès d'*Internet protocol* o protocol d'Internet.

Els **sockets** permeten identificar de manera única un programa, permetent-lo intercanviar dades amb un altre programa que normalment està ubicat en un altre ordinador.

lliura les dades al sòcol (i no directament a l'aplicació). Per identificar els sòcols es disposa d'un identificador únic. Cada segment de la capa de transport conté un camp per poder lliurar les dades al sòcol adequat. En el receptor, la capa de transport examina aquests camps per identificar el sòcol receptor i ho envia (demultiplexació). Un sòcol s'identifica amb les IP destinació i origen i els ports d'origen i de destinació. Els **ports** permeten identificar de manera única l'aplicació.

La **multiplexació** és el treball de reunir les dades en l'hoste origen des de diferents sòcols, encapsulant els fragments de dades amb la informació, per identificar el sòcol, de capçalera (que s'usarà en la demultiplexació).

Com a exemples de protocols d'aquesta capa hi ha, depenent del model de comunicació, el TCP, UDP o SPX (*Novell*).

Capa 5. Capa de sessió

La capa de sessió proporciona servei a la capa de presentació. Sincronitza el diàleg entre les capes de presentació dels equips terminals i administra l'intercanvi de dades. A més de controlar la sessió, aquesta capa ofereix serveis per a una transferència eficient de les dades.

La **capa de sessió** estableix, administra i finalitza les sessions de comunicació entre dos equips terminals.

Les capes d'**aplicació**, **presentació** i **sessió** són capes específiques per a cada model d'aplicació.

Les capes de **transport**, **xarxa**, **enllaç** i **física** són capes específiques de transmissió de dades.

Capa 6. Capa de presentació

La **capa de presentació** assegura que la informació transmesa per la capa d'aplicació podrà ser utilitzada per la capa d'aplicació del receptor.

Si cal, la capa de presentació tradueix els diferents formats de dades, per a la qual cosa utilitza un format comú. Una de les tasques més importants de la capa de presentació és el xifratge i desxifratge.

En aquesta capa hi ha per exemple els protocols **NetBios** (*Novell*) i **XDR** (*eXternal Data Representation*, representació de dades externa) és un protocol de presentació de dades. Permet la transferència de dades entre màquines de diferents arquitectures i sistemes operatius.

Capa 7. Capa d'aplicació

La capa d'aplicació permet a l'usuari accedir a la xarxa. Proveeix de les interfícies d'usuari i suport per a serveis com el correu electrònic, transferència d'arxius, administració de bases de dades compartides i altres tipus de serveis distribuïts. Per tant, són les aplicacions amb les quals interactua l'usuari per accedir a funcionalitats de xarxa.

La **capa d'aplicació** és la més propera a l'usuari. Proporciona serveis de xarxa a les aplicacions de l'usuari, per exemple accés a fitxers, accés a impressores...

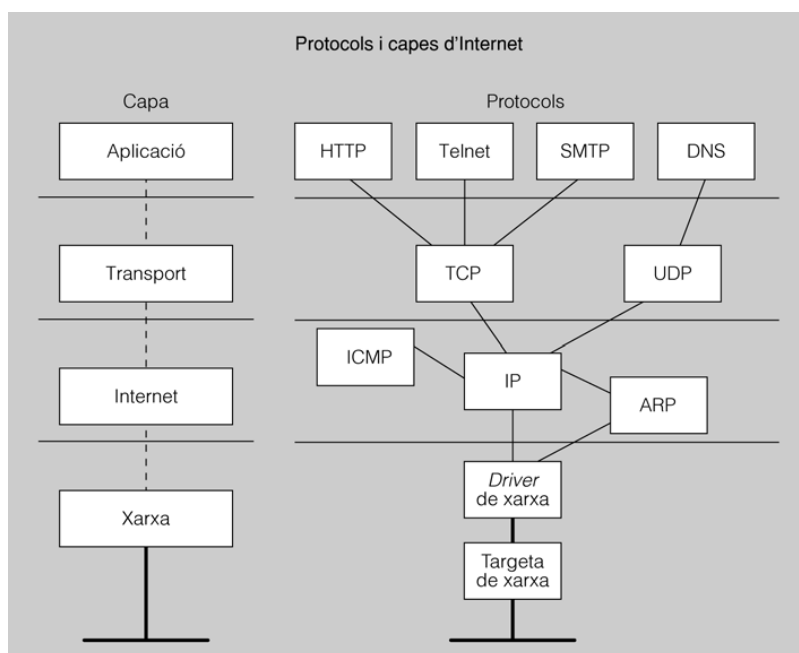
És l'única capa que no proporciona cap servei a cap altra capa. Aquesta capa sincronitza i dóna servei a la recuperació i el control d'errors i a la integritat de les dades.

Com a protocols d'exemple d'aquesta capa trobem l'**HTTP** (*Hipertext Transfer Protocol*, protocol de transferència d'hipertext) que és el protocol usat pel World Wide Web, que permet sol·licitar i rebre pàgines webs i **FTP** (*File Transfer Protocol*, protocol per a la transferència de fitxers). Aquest protocol permet transmetre fitxers entre ordinadors.

2.3.2 Protocol TCP/IP

El protocol TCP/IP (acrònims de l'anglès *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*, protocol de control de transmissió/protocol d'Internet) va néixer dels treballs de l'**ARPA** (*Advanced Research Project Agency*, agència de projectes avançats de recerca) del Departament de Defensa dels EUA, durant les dècades dels anys seixanta i setanta del segle passat. L'any 1974 els programadors V. Cerf i R. Kahn proposaren un nou conjunt de protocols bàsics de xarxa que solucionaven en gran part els problemes dels protocols usats en l'ARPANET (la xarxa desenvolupada per ARPA). Així es posaren els fonaments dels protocols IP i TCP. L'any 1980 va començar la migració dels aproximadament 100 servidors que formaven la xarxa als nous protocols. Tres anys després el Departament de Defensa va estandarditzar el protocol TCP/IP com protocol bàsic de xarxa. Ràpidament altres agències governamentals el van incorporar, fet que va provocar que empreses proveïdores l'incloguessin als seus sistemes operatius i equips de comunicació. A més, el Departament de Defensa el va promocionar en recomanar-lo a la Universitat de Berkeley amb la seva inclusió en la distribució BSD 4.2 de l'UNIX.

El model TCP/IP consta de quatre capes: la capa d'aplicació, la capa de transport, la capa d'Internet i la capa d'accés a la xarxa (figura 2.4).

FIGURA 2.4. Protocols i capes d'Internet

Capa d'aplicació

Les persones que van dissenyar el protocol TCP/IP van considerar important crear una capa en què es tractessin els aspectes de representació, codificació i control del diàleg, és a dir, els protocols de les aplicacions que generen les dades que es transmeten per la xarxa. De fet, el protocol més característic per visualitzar les pàgines web d'Internet és el protocol de transferència d'hipertext (HTTP, *hypertext transfer protocol*, Protocol de transferència d'hipertext).

Capa de transport

Amb la finalitat d'establir la transmissió d'informació sense cap mena d'error, hi ha d'haver un mecanisme perquè els equips es puguin comunicar. És per això que la capa de transport és l'encarregada de tractar els aspectes relacionats amb la qualitat del servei des del punt de vista del control del flux i la correcció dels errors.

Els dos protocols més utilitzats són el protocol de control del transport (TCP, acrònim de l'anglès *transport control protocol*) i el protocol de datagrames de l'usuari (UDP, *user datagram protocol*, protocol de datagrames d'usuari). Es pot afirmar que el TCP estableix un canal entre dues aplicacions amb control d'errors, de flux i de congestió, això és, una connexió fiable. En canvi, l'UDP es fonamenta en missatges entre aplicacions sense cap mena de garantia de fiabilitat.

Datagrama

Un datagrama és un fragment de paquet d'informació format per una capçalera i dades que, sense que s'hagi establert una connexió, contenen prou informació perquè la xarxa el reconegui correctament i l'envii al receptor corresponent.

Capa d'Internet

El propòsit d'aquesta capa és permetre que es puguin enviar paquets de dades des de qualsevol punt independentment del tipus de xarxa i de la ruta utilitzada. Val a dir que es pot interpretar aquesta xarxa com un sistema postal, atès que quan s'envia una carta no es sap quina ruta ha pres el carter per portar-la a la seva destinació. Senzillament, interessa que la carta arribi.

El protocol IP incorpora mecanismes d'adreçament perquè xarxes diferents es puguin comunicar sobre la base d'unes adreces lògiques anomenades **adreces IP**.

La capa d'Internet proveeix de la funcionalitat per les comunicacions entre xarxes a través d'encaminadors. Per fer-ho, aquesta capa és el protocol d'Internet (IP o *Internet protocol*, protocol d'Internet).

Capa d'accés a la xarxa

Ethernet

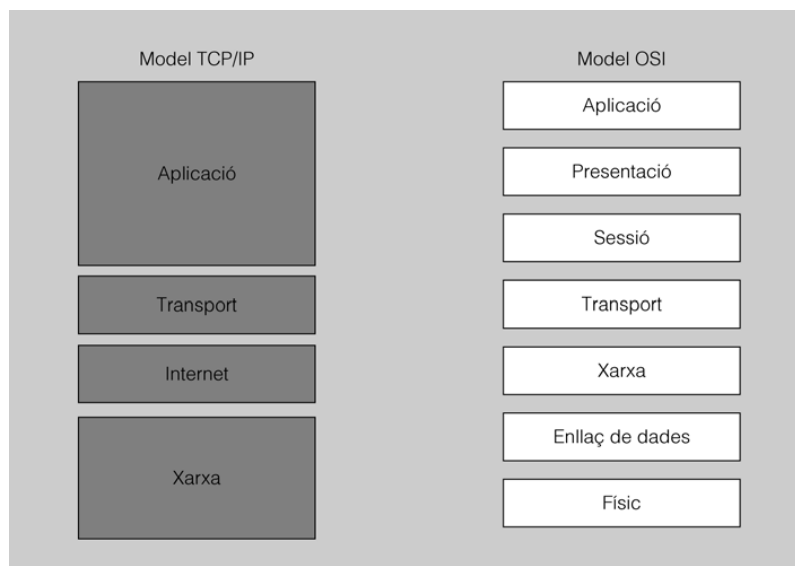
Ethernet és el protocol encarregat de garantir el trànsit fiable de dades per una xarxa d'àrea local entre diferents dispositius.

Perquè la informació es pugui transmetre per una xarxa d'àrea local s'ha de definir el mètode que utilitzaran les estacions per accedir al mitjà de comunicació. De fet, els protocols d'aquesta capa defineixen les tecnologies de xarxa d'àrea local (LAN *local area network*, xarxa d'àrea local) com, per exemple, l'Ethernet.

2.3.3 Comparació entre els models: OSI i TCP/IP

A l'hora de comparar el model OSI amb el model TCP/IP és inevitable observar algunes similituds i diferències, com ara que el model OSI és teòric i el model TCP/IP és una implementació com, per exemple, la **IEEE 802.3**. (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*, Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics) (figura 2.5).

FIGURA 2.5. Model TCP-IP i OSI



Si us centreu en les similituds entre tots dos models, es podria destacar, per exemple, que ambdós models presenten una divisió en capes. És més, hi ha capes com la d'aplicació, de transport i de xarxa que presenten utilitats molt similars. Cal destacar, per últim, que la tecnologia utilitzada per ambdós models és de commutació per paquets, no pas per circuits.

La **commutació per paquets** és una tècnica que permet enviar la informació d'un punt a un altre dividint el missatge en paquets. Així, si un missatge té una errada en un bit d'informació, només cal sol·licitar que es torni a enviar el paquet del bit afectat.

La **commutació per circuits** és un mètode basat en l'establiment, manteniment i finalització d'un circuit físic dedicat mitjançant la xarxa per cadascuna de les sessions de comunicació.

Pel que fa a les diferències, veiem que el nombre de capes que té el model de referència OSI són set i, el model TCP/IP només en té quatre. Una altra diferència fonamental radica en els serveis d'adreçament dels paquets basats en les adreces IP existents dins del paquet IP.

El model OSI suporta els serveis orientats a la connexió (CONS *Connection-Oriented Network Service*) o els no orientats a la connexió (CLNS *Connectionless Network Service*) en l'àmbit de la capa de xarxa, però únicament suporta la modalitat CONS en la capa de transport, que és la que percep l'usuari.

En canvi, el model TCP/IP solament suporta la modalitat CLNS en l'àmbit de la capa de xarxa, però suporta ambdues modalitats en l'àmbit de la capa de transport.

Per últim, cal destacar que, des d'un punt de vista pràctic, els protocols basats en les normes estàndards OSI definides per l'Organització Internacional per l'Estandardització (ISO) mai no van arribar a tenir gaire importància a escala mundial, tot i que la majoria dels grans fabricants d'ordinadors i companyies telefòniques van impulsar-ne la utilització oferint productes i serveis basats en aquest model de referència.

De fet, el desenvolupament del model de referència OSI fou patrocinat, principalment, per l'Organització Internacional per l'Estandardització (ISO), la Comunitat Europea i els governs dels països membres. En canvi, el desenvolupament del model TCP/IP va seguir un camí més plural atès que qualsevol podia col·laborar en la proposta d'un nou protocol per a la seva estandardització, independentment de la nacionalitat.

2.4 Ethernet

Actualment, la connexió a Internet ha esdevingut un element més dins de qualsevol llar. És més, des de principis de segle, està legislat que tots els edificis de nova construcció (o de reforma integral) tinguin preses d'accés de banda ampla a la

xarxa d'Internet. És aquí on té un important paper la tecnologia Ethernet, atès que gran part del tràfic d'Internet s'origina i finalitza en connexions d'Ethernet.

De fet, la tecnologia Ethernet ha esdevingut la tecnologia XAL (xarxes d'àrea local) amb més presència arreu del món. Per explicar l'èxit de la tecnologia Ethernet s'han de citar els principals factors d'influència:

- La seva senzillesa i facilitat de manteniment.
- La capacitat per incorporar noves tecnologies.
- L'alt grau de confiança que proporciona.
- El baix cost d'instal·lació i actualització.

2.4.1 Origen

A mode d'anècdota, cal destacar que la tecnologia té el seu origen en el sistema Alohanet que permetia que diverses estacions de les Illes de Hawaii tinguessin accés de manera ordenada a la banda de radiofreqüència compartida de l'atmosfera.

L'any 1973, fou en Robert Metcalfe qui, durant la seva feina en el disseny de l'*oficina del futur* en el centre de recerca Xerox PARC (Xerox Palo Alto Research Center), va elaborar l'estàndard Ethernet. De fet, l'estudi de l'*oficina* considerava la presència de diferents ordinadors que compartirien arxius i impressores. Com que la informació que s'havia d'enviar a les impressores havia de ser molt elevada, la velocitat de transferència havia de ser, com a mínim, de l'ordre de megabits per segon. Aquest fou, doncs, l'origen de la norma Ethernet.

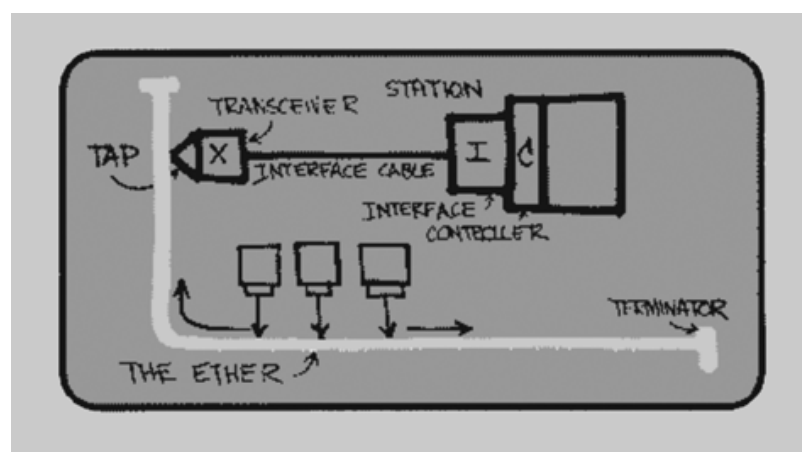


Robert Metcalfe

La figura 2.6 mostra el dibuix que va fer Robert Metcalfe per presentar la norma Ethernet durant la Conferència Nacional d'Ordinadors el mes de juny de 1976.

Amb tot, va ser el consorci format per les empreses Digital Equipment Company, Intel i Xerox (DIX) qui va presentar la norma Ethernet com un estàndard obert i va dissenyar la primera xarxa d'àrea local a partir d'aquesta tecnologia.

FIGURA 2.6. Diagrama original de l'Ethernet



El reconeixement a escala mundial de la norma Ethernet va arribar l'any 1985 quan el Comitè de Normalització per les Xarxes Locals i Metropolitanes de l'Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics (IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers) va publicar i estandarditzar la norma.

L'acrònim IEEE correspon a l'Institut d'Enginyers Elèctrics i Electrònics, això és, una associació tècnica de caire professional a escala mundial dedicada a l'estandardització. Es tracta de l'associació internacional més gran sense ànims de lucre formada per professionals de les noves tecnologies, com enginyers de telecomunicacions, enginyers electrònics, enginyers en informàtica, etc.

La creació de l'IEEE es remunta a l'any 1884 i entre els seus fundadors hi ha personalitats tant reconegudes com Thomas Alva Edison, Alexander Graham Bell i Franklin Leonard Pope.

Cal destacar que les normes IEEE per les xarxes d'àrea local tenien com a nomenclatura el número 802. A les normes basades en l'Ethernet se'ls va assignar la nomenclatura 802.3.

Primers productes Ethernet

Des d'un punt de vista tècnic, els primers productes desenvolupats que utilitzaven la norma Ethernet transmetien a una velocitat de 10 Mbps per un cable coaxial molt fi a una distància aproximada de dos quilòmetres. Val a dir que en el moment de l'aplicació de la norma Ethernet (a mitjans dels anys vuitanta) aquesta amplada de banda era considerada extraordinàriament ràpida.

2.4.2 Cablejat

Quan es cita el terme *Ethernet* es fa referència a tota una família de tecnologies de xarxa que inclouen l'*Ethernet*: el *Fast Ethernet*, el *Gigabit Ethernet* i l'*Ethernet* a 10 GB.

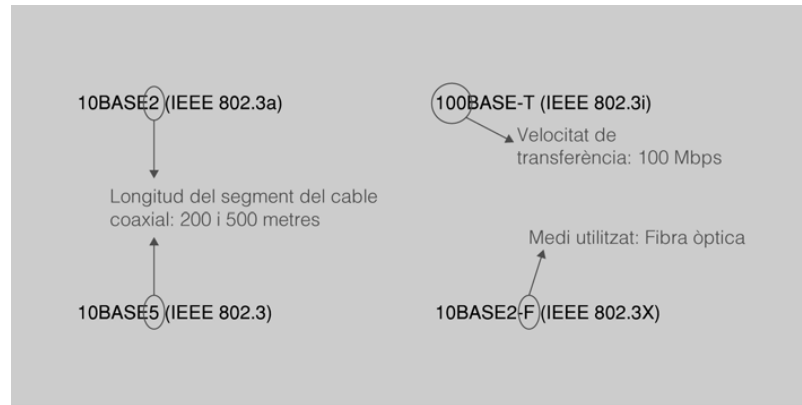
Arribats a aquest punt, és important destacar el volum d'informació que proporciona la nomenclatura de les diferents tipologies de l'Ethernet. Per exemple, prenent com a base la nomenclatura de l'Ethernet original (10BASE-T), es pot veure tota la informació que proporciona:

- **BASE**: en aquest cas, la paraula "BASE" fa referència a la modulació del senyal utilitzat (banda base)
- **T**: la lletra indica el tipus de medi utilitzat, on "T" vol dir cable de parell trenat sense pantalla protectora, en aquest cas a l'usar el parell trenat també ens indica la longitud màxima del cable que són 100 m.
- **10**: el valor numèric "10" indica la velocitat de transferència, 10 Mbps (10 megabits per segon).

Modulació en banda base

De fet, en els inicis de l'aplicació i utilització de l'estàndard Ethernet, aquest s'utilitzava exclusivament en el cable coaxial.

Tal com mostra l'exemple de la figura 2.7, les diferents tipologies de l'Ethernet tenen una doble nomenclatura, això és, una de descriptiva i una altra que és assignada per part de l'IEEE (quan l'Ethernet necessita expandir-se per afegir un nou medi o capacitat, l'IEEE llença un nou suplement per la norma 802.3 i seguint l'exemple de la figura 2.7: 802.3a; 802.3i; 802.3X).

FIGURA 2.7. Exemples de nomenclatures

Els mitjans preferits avui en dia són 10BASE-T i 100BASE-TX, ambdós sobre el cable de categoria 5.

Vegem alguns exemples de les especificacions segons els diferents tipus de cablejat:

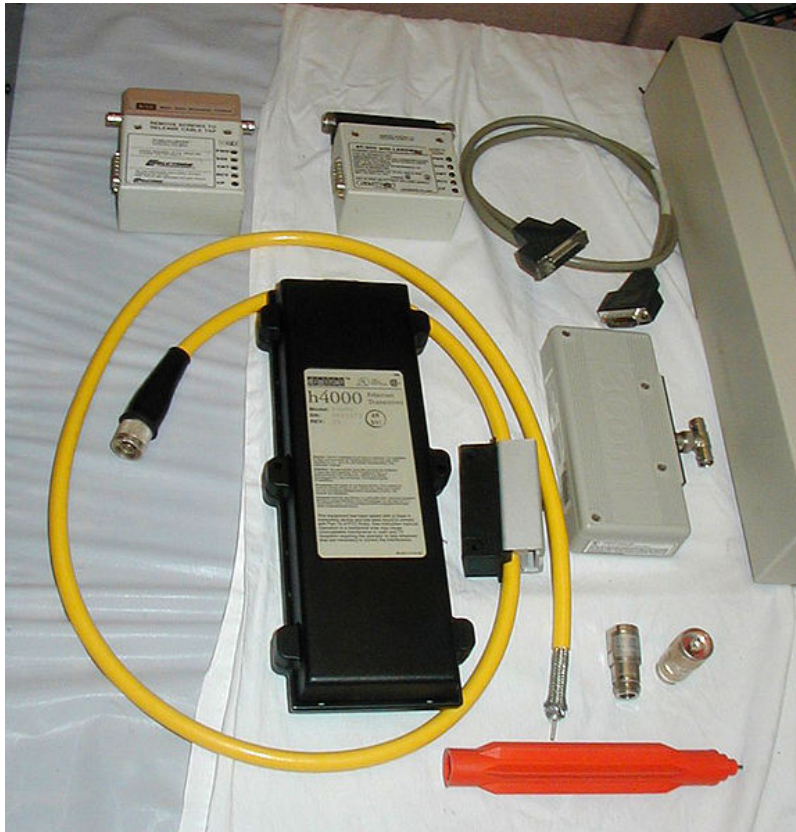
- 10Base5
- 10Base2
- 10Base-T
- 100Base-TX

Base5

Històricament el primer cable utilitzat en Ethernet fou el 10Base5, anomenat popularment *Ethernet gruixut*, per l'ample del cable (similar a una mànega de jardí). Les connexions s'hi fan generalment usant derivacions vampir, en les quals s'introdueixen amb cura una punta fins la meitat del nucli del cable coaxial. La notació 10Base5 significa que opera a una velocitat de transmissió de 10Mbps, usa senyalització en banda base i la longitud màxima del segment és de 500 metres.

En 10Base5 cable de transceptor o cable *drop* connecta el connector vampir una targeta de xarxa en l'ordinador. Aquest cable pot tenir una longitud màxima de 50 metres.

A la figura 2.8 podeu observar els diferents elements que formen part d'aquest cablatge, el cable en si i els connectors.

FIGURA 2.8. Elements del cablatge 10base5

Imatge: Robert Harker (Wikimedia Commons)

Base2

El següent cable en aparèixer fou el 10Base2 o *Ethernet prim* que pot plegar-se amb facilitat (a diferència del gruixut) a la figura 2.9 podeu veure una imatge del cable. Les connexions es fan usant connectors BNC estàndard de la indústria per formar unions T, en lloc d'usar connectors vampir, vegeu una imatge del connector T a la figura 2.10. Aquestes són més fàcils d'usar i fiables. La Ethernet 10Base2 és molt més barata i fàcil d'instal·lar, però només pot estendre's 185 metres i pot fer anar només 30 ordinadors per segment de cable. El nombre 2 ens indica la longitud i inicialment es va pensar que podria donar abast a 200 metres però diferents proves varen demostrar que la longitud màxima real era de 185 metres, de totes maneres al fer el nom estàndard es va arrodonir el número.

FIGURA 2.9. Cable 10base2

Imatge: Barcex (Wikimedia Commons)

FIGURA 2.10. Connector T

Imatge: Bollinger (Wikimedia Commons)

Categoria dels cables

Les categories dels cables UTP especifiquen quin cable s'usarà en cada situació i ocasió; això està especificat per la **EIA/TIA** (associació d'indústries electròniques i de telecomunicacions), segons la velocitat de transmissió s'han establert 7 categories, que fa que els cables vagin des d'una freqüència d'1 MHz pels de categoria 1, (el fil telefònic trenat, per exemple) fins a una freqüència de 600 MHz amb una taxa de transferència d'1 Gbps per als de categoria 7.

Base-T

En ambdós mitjans, tant 10Base5 com 10Base2, la detecció de ruptures de cable, derivacions dolentes i connectors solts representava un problema important. Això va empènyer els sistemes a una disposició de cables diferent, en el qual totes les estacions tenen cablejat que condueixen a un concentrador (HUB) central. Aquest esquema s'anomena *10BaseT* (són cables de parell trenats sense blindar -UTP- d'una longitud màxima de 100 metres amb connectors RJ-45).

La 10Base-T fou la primera a fer servir cables trenats com a mitjà de transmissió. El cable utilitzat és UTP de categoria mínima 3. La migració d'aquesta xarxa a Fast Ethernet (100 Mbps) és econòmica i senzilla tècnicament i per això aquest tipus de LAN pràcticament han desaparegut en l'actualitat.

Base-TX

Aquest és el tipus de LAN més usat en l'actualitat. Fa servir topologia en estrella amb cables de parell trenats de classe D (categoria 5) UTP i STP.

En ser una evolució natural de la 10Base-T n'hereda moltes especificacions. Així la longitud màxima dels enllaços és de 100 metres, i emprà connectors RJ-45 per UTP i de tipus RJ-49 per a STP. Aquesta especificació només fa servir dos parells dels quatre que té el cable: un per a transmetre i l'altre per rebre.

En l'actualitat el mercat comercialitza habitualment components (HUB, commutadors o *switches*, targetes de xarxa, etc.) que treballen de manera dual tant en 10Base-T com en 100Base-TX. L'opció de quina de les dues triar la fa la xarxa de manera automàtica.

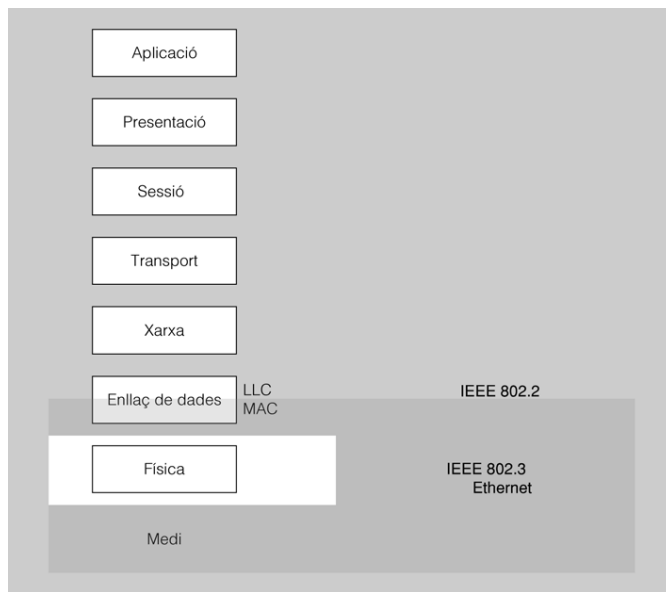
2.4.3 Ethernet i IEEE 802.3 envers el model de referència OSI

El model de referència d'interconnexió de sistemes oberts (OSI, *open system interconnection*) defineix una arquitectura de comunicació fonamentada en set nivells verticals, on cadascun dels nivells executa un ventall de funcions que permeten establir la comunicació amb un altre sistema. Val a dir que cada nivell

fonamenta les seves tasques en el serveis que ofereix el nivell que hi ha per sota seu i, alhora, ofereix els seus serveis al nivell que està per sobre seu.

Des del punt de vista dels estàndards Ethernet i IEEE 802.3, es poden destacar que ambdós protocols formen part de la zona inferior del model de referència OSI, això és, en la capa física i en la meitat inferior de la capa d'enllaç de dades (figura 2.11). Aquesta situació privilegiada envers el model de referència OSI els permet comunicar-se amb qualsevol tipus de protocol superior.

FIGURA 2.11. Zones de treball de l'IEEE 802.3 i l'Ethernet



Tant a l'Ethernet com a l'IEEE 802.3 la capa d'enllaç de dades del model de referència OSI es divideix en dues subcapes:

- **Control d'accés al medi** (MAC, *media access control*). Aquesta capa defineix el mode en què es transmeten les trames pel fil físic. Manipula l'adreçament físic associat a cadascun dels dispositius, la definició de la topologia de la xarxa i la disciplina de la línia.
- **Control d'enllaç lògic** (LLC, *logical link control*). Defineix el mode en què les dades són transferides pel medi físic i proporciona serveis a les capes superiors. Aquesta subcapa s'encarrega del control d'errors, el control de flux i com s'encapsula la informació.

IEEE 802.3 és, actualment, la implementació Ethernet més freqüent.



Targeta de xarxa Ethernet

2.4.4 Adreçament MAC

Número de bastidor d'un cotxe

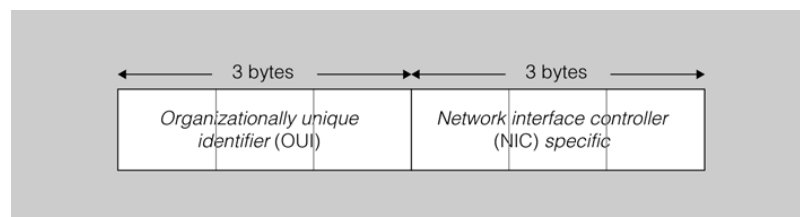
El número de bastidor és una successió de nombres i lletres gravats sobre el xassís o el bastidor del vehicle que l'identifica a efectes legals i proporciona informació sobre el model, l'any i la data de fabricació del vehicle.

Per permetre la distribució local de trames a l'Ethernet, hi ha d'haver un sistema d'adreçament, això és, una modalitat per anomenar els ordinadors i les interfícies. De fet, cadascun dels ordinadors té un únic mode d'identificar-se i, pel que fa a la xarxa, té una adreça física. És important, doncs, recordar que en l'àmbit de la xarxa no hi poden haver dues adreces físiques iguals. De fet, l'adreça física s'ubica en la targeta d'interfície de xarxa (NIC, *network interface card*) amb el nom control d'accés al medi (MAC, *media access control*).

L'Ethernet utilitza les adreces MAC per identificar únicament els dispositius a títol individual. De fet, cadascun dels dispositius presents en una xarxa d'àrea local amb una targeta d'interfície de xarxa (NIC) ha de tenir assignada una adreça MAC. En cas contrari, els altres dispositius no es podrien comunicar amb aquests dispositius.

Si us centreu en l'estructura de l'adreça MAC (figura 2.12), veureu que té una longitud de 48 bits, on els sis primers dígitos estan administrats per l'IEEE, això identifica el fabricant i distribuïdor i s'anomena **identificador únic de l'organització** (OUI, *organizationally unique identifier*). La resta dels dígitos comprenen el número de sèrie de la interfície o bé qualsevol altre valor administratiu d'un distribuïdor específic. A grans trets, podeu identificar l'adreça MAC com el número de bastidor present en un cotxe. Amb tot, cal destacar que l'adreça MAC és única a tot el món, per tant, prenent com a base l'exemple, es podria dir que la modalitat de nomenclatura del bastidor seria única per a tot el món.

FIGURA 2.12. Estructura de l'adreça MAC



S'ha de destacar la importància del paper que tenen les adreces MAC, atès que, en el cas que no existissin, les xarxes d'àrea local esdevindrien un conjunt d'ordinadors sense identificar i per on no podria circular cap paquet d'informació ja que no se sabia a qui va adreçat ni qui l'envia. De fet, les xarxes d'àrea local tipus Ethernet i 802.3 són xarxes basades en la difusió, és a dir, totes les estacions veuen (i examinen) cadascun dels paquets d'informació que circulen, i esbrinen a quina estació s'adrecen.

Transmissió d'informació

És inevitable destacar l'important ventall de semblances que hi ha entre la preparació i posterior transmissió d'un paquet d'informació per una xarxa respecte de l'enviament d'un paquet mitjançant el correu ordinari.

Arribats a aquest punt, és inevitable preguntar-se quina necessitat tenen els diferents dispositius presents en una xarxa d'avaluar cadascun dels paquets d'informació que hi circulen. De fet, quan un dispositiu present dins d'una xarxa Ethernet vol enviar informació a un altre dispositiu, pot obrir una via de comunicació mitjançant la seva adreça MAC, és a dir, afegint l'adreça MAC del dispositiu de destinació a la informació que s'envia.

Mentre els paquets d'informació circulen per la xarxa, les targetes d'interfície de xarxa (NIC) verifiquen si l'adreça MAC inserida en el paquet d'informació es correspon amb la seva adreça MAC.

En cas que es doni aquesta coincidència, la NIC verifica l'adreça de destinació present en la capçalera del paquet d'informació per decidir on s'ha d'adreçar exactament la informació.

Quan les dades són lliurades al destinatari, la NIC corresponent treu les dades de "l'embolcall" i les lliura a l'ordinador perquè les processi mitjançant els protocols de capa superior com, per exemple, l'IP i el TCP.

2.4.5 Trama MAC

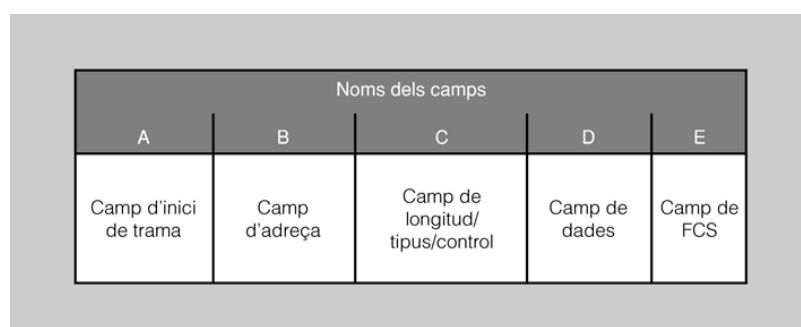
Tot i que l'existència d'un flux d'informació en forma de bits codificats transmesos per un medi físic ha esdevingut, per ell mateix, un gran avenç tecnològic, s'han de complir certes condicions. De fet, aquests condicionants es fonamenten en la necessitat de proporcionar cert ordre i coherència a la informació que es transmet, per exemple, organitzar la informació en seqüències de dades amb forma de trama.

L'acció d'embolcallar la informació per transmetre en trames es basa en la inclusió d'un ventall d'afegits que ajuden a reafirmar els paràmetres de seguretat i d'integritat necessaris per a la comunicació. Aquest ventall d'afegits proporciona informació tan rellevant com el reconeixement dels error apareguts durant la comunicació, on estan situades les dades dins de la trama o bé quins són els dispositius que s'estan comunicant.

L'acció d'embolcallar la informació en forma de trames es produeix en la capa 2 del model de referència OSI.

El concepte de trama com a seqüència d'informació implica imaginar una llarga cadena de dígitos en què cadascun d'aquests dígitos té una funció preestablerta. Val a dir que aquestes funcions s'assignen a grups predefinits de bytes dins de la trama en seccions seqüencials anomenades *camp*s (figura 2.13).

FIGURA 2.13. Format genèric de trama



Per al funcionament correcte de la transmissió dels paquets d'informació, cadascun dels camps que formen la trama té una funció concreta que l'ordinador emissor sap com definir i que el receptor sap com interpretar. Un canvi en el contingut d'aquests camps pot variar completament la funció final del paquet d'informació.

- **Camp d'inici de trama (A).** Quan els ordinadors estan connectats a un medi físic necessiten un mecanisme que els ajudi a difondre els seus missatges o, a grans trets, avisar de l'enviament d'una trama. És per això que, prenent el símil de les banderes que hi ha en el frontal d'un cotxe diplomàtic, totes les trames tenen una seqüència inicial de bytes de senyalització que avisa de la seva arribada.
- **Camp d'adreça (B).** Totes les trames contenen informació que permet identificar-les, com, per exemple, l'adreça de l'ordinador que envia la informació, això és, l'adreça MAC i l'adreça MAC de l'ordinador de destinació.
- **Camps de longitud i tipologia (C).** La majoria de les trames tenen camps especialitzats amb diferents finalitats en funció de la tecnologia utilitzada. Per exemple, aquest camp es pot utilitzar per indicar quin protocol de la capa 3 del model de referència OSI s'ha utilitzat o bé per especificar-hi la longitud exacta de la trama.
- **Camp de dades (D).** El principal motiu pel qual s'envien trames és per obtenir les dades de la capa superior, això és, les dades de l'aplicació de l'usuari i enviar-les d'un ordinador a un altre. Com si d'una carta es tractés, dins del sobre, en aquest cas l'embolcall que ha esdevingut la trama, hi ha el missatge que es vol enviar (les dades).
- **Camp de seqüència de verificació de trama (E).** (**FCS**, *frame check sequence*). Considerant en quin grau són susceptibles als errors les trames i els camps continguts, és necessari establir un paràmetre que verifiqui la integritat de la trama. De fet, el camp de seqüència de verificació de trama conté un número que és el resultat d'un càlcul realitzat per l'ordinador que envia la trama. Quan l'ordinador destinatari rep la trama, torna a calcular el número FCS i el compara amb el número FCS inserit dins de la trama. En cas que ambdós números no coincideixin, s'assumeix l'error i la trama és descartada.

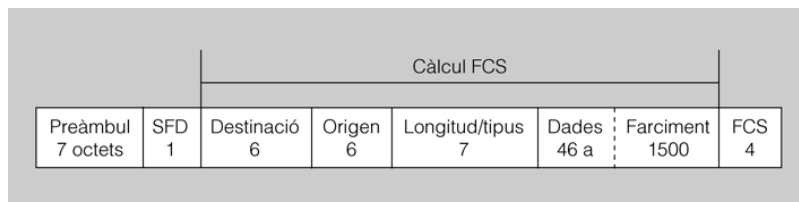
L'esquema més senzill per detectar errors es basa en la **paritat**, això és, afegir un bit que indica si el nombre de bits de valor 1 en les dades que el precedeixen és parell o imparell.

Si un sol bit canvia per error durant la transmissió, el missatge canvia de paritat i l'error es pot detectar (sempre que l'error no es produeixi en el bit de paritat). Un valor de paritat d'**1** indica que hi ha un nombre imparell d'uns dins de les dades. Un valor de paritat **0** indica que hi ha un nombre parell d'uns dins de les dades.

Trames Ethernet IEEE 802.3

És important tractar el tipus de trama que hi ha en les xarxes Ethernet actuals, això és, la trama bàsica Ethernet IEEE 802.3. A diferència d'una trama genèrica, la trama bàsica Ethernet IEEE 802.3 presenta un nombre de camps distribuïts més elevat, en aquest cas, en octets (figura 2.14).

FIGURA 2.14. Estructura de trama Ethernet IEEE 802.3



Els diferents camps que formen la trama bàsica Ethernet IEEE 802.3 tenen una missió definida per part de l'ordinador emissor perquè siguin interpretats per l'ordinador receptor. Qualsevol canvi en el contingut d'aquests camps pot variar la interpretació correcta de la trama.

1. **Preàmbul:** Amb la intenció de presentar tot tipus de compatibilitat, aquest camp conté un patró de set octets de longitud on s'alternen l'1 i el 0 per indicar l'inici de la trama.
2. **Delimitador de trama d'inici (SFD):** Aquest camp marca el punt final de la informació de sincronització de temps.
3. **Adreça de destinació:** Aquest camp conté els sis octets de l'adreça MAC destinació. En aquest cas, és important destacar que hi ha tres tipus d'adreces, això és, d'unidifusió (per enviar d'un punt a un altre punt), multidifusió (per enviar d'un punt a grups de punts) i, per últim, adreça de difusió (d'un punt a tots els altres).
4. **Adreça d'origen:** Aquest camp conté els sis octets de l'adreça MAC d'origen.
5. **Longitud/tipus:** En cas que el valor inserit sigui més petit que el valor decimal 1536, el valor fa referència a la longitud. En cas contrari, el valor especifica el protocol de la capa superior que rep les dades un cop que s'hagi completat el processament Ethernet.
6. **Dades i farcit:** Aquest camp pot esdevenir de qualsevol longitud que no provoqui que la trama excedeixi la seva grandària màxima. De fet, la unitat màxima de transmissió (MTU, *maximum transmission unit*) per l'Ethernet és de 1.500 octets, és a dir, la grandària que no poden excedir les dades. De fet, en cas de necessitat, s'acostuma a aplicar la tècnica del farcit de bits (*bit stuffing*) quan no hi ha prou dades de l'usuari perquè la trama assoleixi la seva longitud màxima.
7. **Seqüència de verificació (FCS, *frame check sequence*):** Aquesta seqüència conté el codi de redundància cíclica (CRC, *cyclic redundancy check*), això

és, el valor resultant d'un càlcul per la detecció d'errors en la trama realitzat per part del dispositiu emissor. És en el moment de la recepció quan el dispositiu receptor torna a fer aquest càlcul de verificació per comprovar la integritat de la trama i la inexistència de possibles errors. En el cas que el càlcul realitzat coincideixi amb el valor inserit en la trama, la trama seria acceptada. En cas contrari, el dispositiu receptor la rebutjaria.

Tipus d'adreces

L'adreça d'unidestinació tindrà sentit en el destinatari o origen d'una trama, en canvi la de multidestinació o la de difusió només en el destinatari.

Es pot discriminar entre les adreces mirant el primer bit, si aquest és 0 significa que és d'unidestinació o *unicast*, si és 1, serà multidestinació (*multicast*) o de difusió (*broadcast*). Si l'adreça té tots els seus bits a 1 aleshores serà de difusió (0xFFFFFFFF) i si és de multidestinació la resta de bits especificarà a quin grup correspon l'enviament. Per tant hi ha tres tipus d'adreces:

- **unicast (adreça d'unidifusió):** identifica un sol ordinador, es fa servir per fer un enviament a un ordinador concret.
- **multicast (adreça de multidifusió):** per referenciar un grup d'ordinadors, usat per enviar a només un grup dels ordinadors de la xarxa.
- **broadcast (adreça de difusió):** per referenciar tots els ordinadors, usat per fer un enviament a tots els ordinadors.

2.4.6 Control d'accés al medi

El **control d'accés al medi** (MAC, *media access control*) fa referència als protocols que decideixen a quin ordinador es permet transmetre dades.

A l'hora de parlar del control d'accés al medi és important citar les dues categories existents, això és, les deterministes (per torns) i les no deterministes (a grans trets, "el primer que arriba esdevé el primer a ser servit").

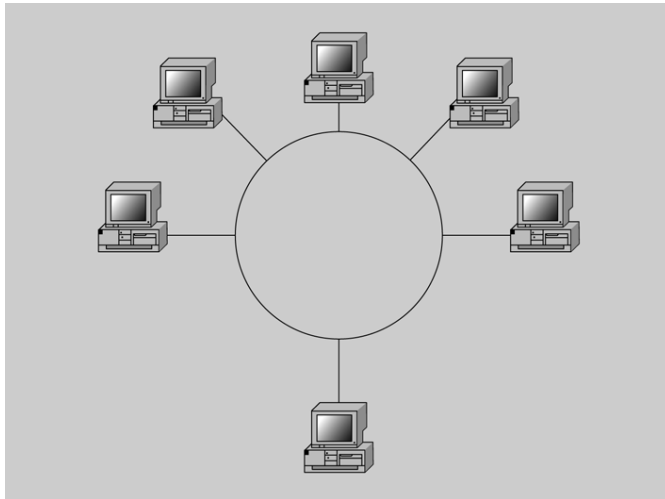
Subcapa MAC (protocols MAC deterministes)

Els protocols MAC deterministes utilitzen una modalitat basada en la creació de torns. Un exemple d'aquests torns es fonamenta en la transmissió de testimonis (*tokens*).

Hi ha un protocol d'enllaç de dades, que rep el nom d'**anell de testimoni** (*token ring*), en què els ordinadors que estan connectats a la xarxa es distribueixen en forma d'anell (figura 2.15). És per aquest anell per on circula un testimoni (*token*) de dades especials que és pres temporalment per l'ordinador que vol transmetre dades. Un cop ha finalitzat la transmissió de dades, l'ordinador deixa lliure el testimoni perquè torni a circular per l'anell i pugui ser pres per un altre ordinador.

La tècnica de la transmissió de testimonis

Es fonamenta en un costum propi de les tribus d'indis nadius americans que, durant les seves reunions, es passaven el testimoni o **bastó que parla**. De fet, aquell que tenia a les mans el **bastó** era escoltat per tothom fins que finalitzava el seu parlament, moment en què el testimoni es passava a una altra persona.

FIGURA 2.15. Anell de testimoni

CSMA/CD (protocols MAC no deterministes)

Els protocols MAC no deterministes utilitzen la premissa “el primer que arriba esdevé el primer a ser servit” (FCFS, *first-come, first-served*) com, per exemple, l'accés múltiple amb detecció de portadora i detecció de col·lisions (CSMA/CD, *carrier sense multiple access/collision detect*).

Aquest tipus de protocol és el que fa servir Ethernet, atès que permet que els dispositius de xarxa esdevinguin els responsables d'administrar el seu dret a transmetre. De fet, la mecànica es fonamenta en el fet que les estacions d'una xarxa CSMA/CD escoltin quin és el millor moment per transmetre. Malgrat tot, en cas que dues estacions transmetin alhora es produeix una col·lisió i cap de les transmissions de les estacions té èxit.

El fet de no haver d'esperar torn augmenta l'eficiència de la xarxa però controlant el moment en què dues estacions volen transmetre a la vegada.

El funcionament d'aquest protocol és el següent: si una estació ha de transmetre una trama, la transmetrà sempre que detecti que no hi ha activitat, per això l'estació està constantment escoltant el medi i sap quan no hi ha activitat. En el cas que detecti activitat haurà d'esperar a transmetre-la al moment en què no hi hagi activitat. Aquest mode de funcionar el marca la política del CSMA.

Però què passa si hi ha dues estacions que transmeten simultàniament les seves respectives trames? Això provocarà una col·lisió, perquè les trames (els senyals presents en el medi) es barrejaran i faran errònia la informació que hi ha al medi. Aleshores el control d'errors que s'efectua en la subcapa **LLC** (*logical link control*, control d'enllaç lògic), que pertany a la capa enllaç, detectarà l'error i demanarà la retransmissió de les trames. Això fa que el rendiment de la xarxa disminueixi i, per tant, es perd eficiència.

Per millorar aquest protocol, se li afegeix un procediment, en el qual una estació en transmetre la informació segueix escoltant el medi, i si detecta una col·lisió atura la seva transmissió. Per tant guanyaria temps, i així esperaria un temps aleatori per tornar a provar de transmetre la trama. Aquesta millora és la que es coneix com a **CSMA/CD**.

Aquest mode de treballar marca un nou paràmetre que és la **longitud mínima de trama**. Una trama ha de ser prou llarga perquè es pugui detectar la col·lisió abans no es finalitzi la seva transmissió. Aquesta longitud depèn de la velocitat de transmissió dels senyals al medi. En el cas de les xarxes Ethernet amb topologia de bus, la longitud mínima de trama és de 512 bits.