

# MITES I REALITATS EN LES TENDÈNCIES DE LES TECNOLOGIES DE TELECOMUNICACIONS

**Josep M. Selga**

*Doctor enginyer en telecomunicacions*

## Introducció

L'objecte d'aquest article és analitzar, sense tractar de ser exhaustius, l'evolució de les tecnologies de telecomunicacions i de les activitats que les suporten com ara l'evolució del procés estandarditzador i la publicació d'articles, per tractar de deduir-ne tendències.

Aquesta anàlisi permet fer algunes prediccions basades en el fet que el futur és un subconjunt d'allò que ara s'està investigant i estandarditzant, activitats que requereixen un gran esforç i un llarg temps.

La gran tecnificació de les telecomunicacions i la manera com es presenten han anat creant una sèrie de conceptes que, en ser traslladats a la societat, tendeixen a simplificar-se, a encarrucar-se i a mitificar-se.

La forma de presentació de l'article aprofita aquest fet formulant uns mites o creences més o menys estesos

per, a continuació, donar arguments i dades que permetin rebutjar-los, matisar-los o confirmar-los, segons escaigui.

## Les bases de les tecnologies de telecomunicacions

Les telecomunicacions es fonamenten en unes tecnologies de base i en un procés d'estandardització. Com que la finalitat última de les telecomunicacions és la de comunicar potencialment tothom amb tothom, es fa evident que això pressuposa una sèrie d'acords entre totes les parts implicades que es tradueixen en unes normes o estàndards que són més útils com més gran és l'àmbit geogràfic que abracen.

Això indica que la necessitat d'estandardització i acord és consubstancial a les telecomunicacions, i no només per raons de mercat. Òbviament hi ha, a més a

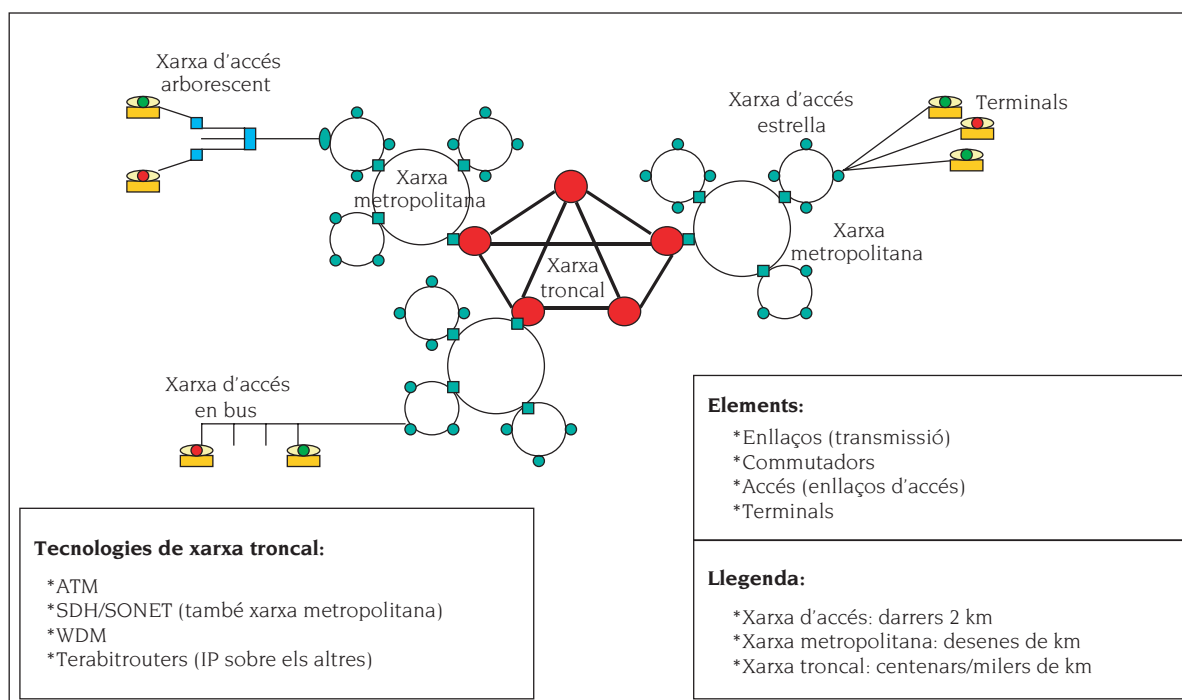


FIGURA 1. Estructura de les xarxes de telecomunicació.

més, unes tecnologies de base que permeten el fet físic de la telecomunicació.

El procés d'estandardització pren en compte les tecnologies de base així com els aspectes econòmics i de negoci.

### L'estructura de les xarxes de telecomunicació

A continuació es presenta una estructura simplificada de les xarxes de telecomunicació per mostrar els elements que les conformen i establir una terminologia comuna. Després es determinaran quines tecnologies de base afecten cada tipus d'element.

La figura 1 mostra l'estructura d'una xarxa de telecomunicacions. S'hi pot veure l'estructura jeràrquica formada per una xarxa troncal que abraça un territori de centenars o milers de quilòmetres i que normalment té estructura malla, unes xarxes metropolitanas que abracen distàncies de desenes de quilòmetres i unes xarxes d'accés que comuniquen els darrers 2 km, connectant amb l'usuari.

Quant als elements que la formen, la divisió clàssica en sistemes de transmissió (les línies de la figura 1: radioenllaços, fibres òptiques, etc.), commutació (els cercles de la figura 1: centraletes, encaminadors [routers], etc.), accés i elements terminals segueix sent vigent.

Les tecnologies dels sistemes de transmissió i d'accés es basen en l'electromagnetisme i, en especial, en la transmissió d'ones en el buit o sobre cables, ja siguin de coure o òptics. La generació i recepció d'aquestes ones necessita antenes, sistemes de ràdio terrestres o satel·litaris, sistemes òptics, cables de coure (coaxials o trenats), fibres òptiques, satèl·lits, etc. La integració a gran escala en silici és determinant.

Els sistemes de commutació i els terminals es basen en l'electrònica, els ordinadors, la integració en silici, el *software* i, recentment, en tecnologies òptiques.

Les tecnologies d'accés són sistemes de transmissió especialitzats en l'accés dels usuaris a les xarxes. Comuniquen l'«última milla» o darrers 2 km, que, d'altra banda, és la de més cost de tota la cadena del servei de les telecomunicacions.

Els terminals es basen en l'electrònica i els ordinadors i, per tant, en el silici, amb un important component de *software*.

Tots es basen també en teories matemàtiques complexes, en especial en la teoria del senyal, que defineix mètodes que permeten de digitalitzar, codificar, modular, filtrar, protegir, multiplexar, comprimir, sincronitzar, equalitzar, comparar, amplificar, atenuar, adaptar, etc., els senyals i cancel·lar-ne els ecos, i prendre les decisions més plausibles. També es basen en la simulació.

TAULA 1  
Exemples d'estàndards en competència

Tecnologia	Veü sobre IP (VoIP)	Mobilitat (UMTS)	Mobilitat (xarxes locals ràdio) (Hiperlan)
Estàndard A	H.323 (ITU)	UMTS (ITU)	Hiperlan (ETSI)
Estàndard B	SIP (IETF)	CDMA2000 (EUA)	Wi-Fi (IEEE802.11)

### Mite I. De la coordinació de l'estandardització

Mite I: Hi ha uns organismes estandarditzadors que van avançant bo i incorporant els darrers avenços tecnològics de manera coordinada.

En realitat, fa més de vint anys aquest potser hauria estat un model vàlid. Ara, però, els organismes d'estandardització competeixen i col·laboren en una relació complexa on cada organització representa només els interessos dels seus associats i estableix els lligams de col·laboració que creu convenients.

La competència s'estén fins i tot als estàndards produïts per una mateixa organització, que competeixen entre si pel mercat. Això fa que existeixin diferents estàndards per a cada tecnologia: d'ADSL (línia d'abonat digital asimètrica), de xarxes locals via ràdio, de qualitat de servei en xarxes, etc.

També s'esdevé que molts estàndards són incompatibles entre si: la xarxa local ràdio Hiperlan de l'ETSI (Institut Europeu de Normalització de les Telecomunicacions) és incompatible amb Wi-Fi (IEEE 802.11b), la xarxa d'àrea personal ràdio Bluetooth s'interfereix amb Wi-Fi, i H.323 (ITU, Unió Internacional de Telecomunicacions) i SIP (protocol d'inici de sessió) (IETF, Internet Engineering Task Force) competeixen pel mercat de VoIP (Veü sobre IP). D'altres simplement coexisteixen però no cooperen. Per exemple, UMTS (Sistema de Telecomunicació Mòbil Universal) i Wi-Fi coexisteixen perquè treballen en bandes de freqüència diferents però no cooperen, encara que això seria molt convenient.

A la taula 1 se sistematitza tot això. En aquest quadre és interessant observar que els estàndards d'una columna són internacionals amb base a Europa mentre que els de l'altra són també internacionals però amb base als EUA. Aquest esquema de competència entre aquestes dues àrees econòmiques és usual.

Hi ha organitzacions que depenen de les Nacions Unides (com ara la ITU), d'altres d'àmbit mundial i molt establertes (ISO, Organització Internacional de Normalització; IEC, Comissió Electrotècnica Internacional), d'àmbit «regional» (ETSI; CENELEC, Comitè Europeu de Normalització Electrotècnica; ANSI, Insitut Americà de Normalització Nacional) i d'àmbit nacional (normalment coordinades amb les d'àmbit regional).

A part d'aquesta estructura més o menys jeràrquica, base del mite esmentat, hi ha també organitzacions internacionals de molt prestigi com ara la IETF i l'IEEE (Institut d'Enginyers en Electricitat i Electrònica), que produeixen estàndards molt importants, i organitzacions, anomenades *fòrums*, que representen els interessats en una determinada tecnologia (ADSLFòrum, ATMFòrum, UMTSFòrum, PLCFòrum, etc.).

En la figura 2 s'han representat de manera simplificada tots aquests organismes d'estandardització i algunes de les relacions que mantenen.

Cal dir que encara que la situació actual en l'àmbit de la normalització presenta alguns inconvenients com el de crear confusió en el mercat, també té avantatges importants ja que esperona la competitivitat i fa que s'avanci més.

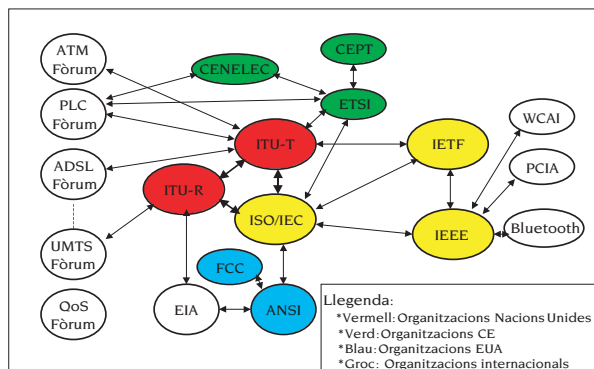


FIGURA 2. Organismes d'estandardització en telecomunicacions.

Un altre aspecte a remarcar és que permet l'entrada en el joc de l'estandardització a nombroses empreses que abans no podien participar-hi ja que era terreny exclusiu de les administracions i les grans empreses, i això és important perquè el procés d'estandardització és també un procés d'aprenentatge, i fins i tot, de màrqueting i de coneixement dels competidors. És, per tant, important per a totes les empreses, grans i petites.

La representativitat dins de cada organització presenta diverses formes, les que estan representades pel pes de cada país (CENELEC) o pel volum de facturació (ETSI) o per un vot per empresa (com alguns fòrums). A Europa, la radicalment diferent representació al CENELEC i a l'ETSI crea alguns problemes.

### Mite II. De l'acceleració de l'estandardització

Mite II: *El procés d'estandardització és cada vegada més ràpid. Les telecomunicacions cada vegada evolucionen més de pressa en la implantació de nous sistemes i serveis de més capacitat, que van substituint ràpidament els anteriors.*

En realitat, la mateixa naturalesa d'acord dels estàndards fa que el procés sigui llarg i que tingui un ritme estable. Això es pot comprovar mirant què ha passat amb alguns estàndards rellevants, cosa que es fa a continuació.

Com a referència es prenen tres fites de cada estàndard, la data de la primera referència que fa menció de la tecnologia que esdevindrà estàndard, la data del primer estàndard dels diversos que poden conformar la tecnologia i, finalment, la data d'implantació comercial, data fàcilment determinable quan el servei el proveeix un operador i pràcticament impossible de determinar quan no és així (cas de tecnologies com Ethernet o el TCP/IP).

La taula 2 indica aquestes dates per a diferents tecnologies rellevants.

A partir d'aquest quadre es pot deduir que el temps des de la primera referència fins al primer estàndard oscil·la entre els dos i els deu anys, amb una mitjana de cinc anys, i que el temps transcorregut des de la primera referència fins a la implantació comercial varia entre els sis i els catorze anys amb una mitjana de deu anys.

Aquest lapse de temps tan important, que coincideix amb el temps que, en general, necessiten les tecnologies per madurar, és la base de la racionalitat d'aquest article i permet afirmar que el futur ja fa temps que s'està escrivint i que allò que ara s'estandarditza i investiga és part del que hi haurà en un futur. El problema és saber quin estàndard o quina tecnologia triomfarà.

També permet assegurar que els sistemes implantats sempre tenen un grau d'antiguitat tecnològica que és conseqüència de la durada del temps d'estandardització.

Un aspecte que val la pena remarcar és que el llarg procés d'estandardització és, possiblement, el factor que fa minvar la participació de moltes empreses petites i mitjanes, com ara les catalanes, ja que els fruits són llunyans i els costos alts, encara que els beneficis puguin ser importants.

TAULA 2  
Temps típics de les tecnologies de telecomunicacions

Tecnologia	Primera referència	Primera norma	Inici d'implantació comercial
Mòbils IG			1981 Suècia 1985 Espanya
GSM	1982	1990 ETSI	1992 Finlàndia
UMTS	1991	1999 ETSI	2002 Europa 2003 Espanya
CDMA2000	1991	1993 IS-95A TIA (EUA)	2001 Corea
XDSI	1978	1984 I.120 (CCITT)	1989 Europa 1992 Espanya
HDSL	1986	1989	1992
XDSL	1989	1992 ADSL Bell labs	1998 UK 2000 Espanya
X.25	1972	1976 CCITT	1986 Espanya
TCP/IP	1974	1984 IPv4	
IPv6	1993	1995 RFC1883	
Ethernet 10	1973	1980 IEEE 802.3	
Ethernet 100	1992	1995 IEEE	

### Mite III. La llei de Moore

Mite III: Cada 18 mesos es duplica la capacitat d'integració en un xip de silici (llei de Moore).

La llei de Moore s'ha mantingut durant molts anys des que Gordon Moore, cofundador d'Intel, la va enunciar. Alguns especialistes consideren que es pot mantenir quinze anys més.

La tecnologia estàndard actual d'integració en xips de silici és de 300 nm (dimensió de l'element més petit enregistrable) i la tecnologia punta és de 130 nm (Motorola), i les previsions són que aquest mateix any ja es comencin a fer xips amb tecnologia de 90 nm i que el 2005 s'assoleixin els 65 nm, sempre amb tecnologia CMOS (semiconductor complementari d'òxid metàl·lic).

La tecnologia de silici finalment tindrà un límit (més endavant s'indiquen algunes dificultats actuals amb què topa) i per això ja s'estan desenvolupant tecnologies alternatives que permeten treballar fins i tot amb àtoms i molècules. Algunes d'aquestes tecnologies són les següents:

— Nanotubs de carboni: tubs de carboni d'1,4 nm de diàmetre. Al laboratori, IBM ja ha creat transistors basats en aquesta tecnologia i Samsung aquest any 2003 ja vendrà pantalles de televisor basades en nanotubs.

— Enginyeria molecular: HP investiga memòries moleculars i IBM circuits moleculars (2002).

— Espintrònica: un bit s'emmagatzema en l'espí de l'electró. S'estan ja preparant memòries RAM magnètiques, MRAM, no volàtils, basades en fenòmens macroscòpics de l'espí. La tecnologia ens promet l'electrònica quàntica basada en qubits o quantum bits.

— Fins i tot en el laboratori hi ha memòries micro-mecàniques (Projecte Nanodrive) d'altíssima densitat.

Per tal d'entendre millor aquestes dimensions tan petites de la tecnologia actual i la seva relació amb la dimensió dels elements del món real s'ha confeccionat la taula 3.

De la diferència entre la capacitat d'integració de la tecnologia actual i la dimensió dels àtoms es pot deduir que en teoria hi ha marge per tal que la llei de Moore segueixi la seva evolució durant quinze anys més.

TAULA 3  
Comparació de dimensions d'elements artificials i del món real

Element del món real	Mida	Element artificial	Mida
Diàmetre d'un cabell	125.000 nm	Diàmetre d'una fibra òptica	125.000 nm
Glòbul roig	10.000 nm	Diàmetre nucli F. O. monomode	5.000-10.000 nm
Bacteri	1.000 nm		
Llargada d'ona de llum visible	400-700 nm		
Virus	100 nm	Tecnologia actual de silici	135 nm
Molècula proteínica	1 nm	Diàmetre nanotubs de carboni	1,4 nm
Àtom de silici	0,3 nm		
Àtom de carboni	0,2 nm		
Àtom d'hidrogen	0,1 nm		

Els problemes amb què es troba la tecnologia de silici i altres tecnologies, que ja s'estan manifestant actualment, són els següents:

— Cada cop és més difícil resoldre els problemes d'escalfament, retards, connectivitat i descàrregues electrostàtiques.

— Calen millors eines de disseny.

— Per avançar més ràpidament cal reutilitzar els dissenys preexistents:

- Descripcions en VHDL (llenguatge de descripció de *hardware* de molt gran integració).

- Agilitat en la gestió dels IPR (drets de propietat intel·lectual).

— Quan es reutilitzen els dissenys però a una escala més petita, apareixen problemes amb els ja esmentats retards, escalfament i connectivitat, que són de difícil automatització.

Aquests aspectes ja estan frenant en els últims anys l'aplicació dels possibles avenços de la llei de Moore. En el gràfic 1 es representa la tendència en el nombre de transistors en CPU d'Intel. S'hi pot veure que la duplicació es produeix cada 2,5 anys, no cada 18 mesos.

Per tant, les CPU d'Intel no compleixen la llei de Moore, cosa que és reforçada per la SIA (Semiconductor Industry Association), que preveu que la densitat el 2016 serà de vint-i-cinc vegades la d'ara, que correspon a duplicar la densitat cada 2,7 anys.

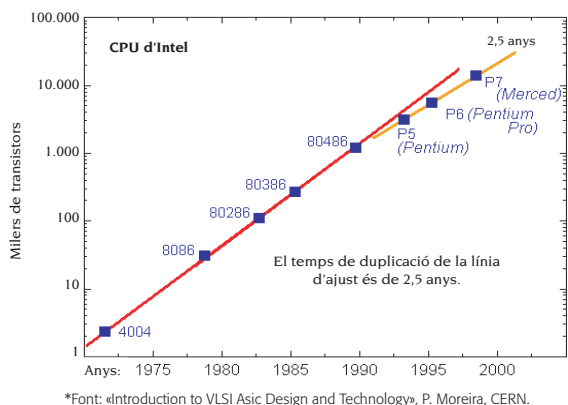
Finalment, és interessant indicar que la microelectrònica significa cada vegada un percentatge més alt del producte electrònic acabat (33 % en els terminals) i que, per tant, és un àmbit important.

Passa, però, que la inversió en producció microelectrònica (*foundries* o foses de silici) és més alta com més petita és la tecnologia i només es pot justificar si es fabriquen grans quantitats (molts milions) de xips. Per aquesta raó, a Espanya i a Catalunya no hi ha foses, encara que sí que tenim el CNM (Centre Nacional de Microelectrònica), que és un centre de disseny i consulta per a foses de micro-sistemes (sistemes a mida, prototips, estudis de viabilitat, sensors, etc.).

Una via possibilista, atesa la importància de la microelectrònica i la dificultat de tenir foses, és la de mantenir i estendre el coneixement de com dissenyar circuits microelectrònics, del *software* associat i dels mètodes i eines de disseny i arquitectura de circuits. No tot són foses. De fet, encara que moltes grans empreses de producció de xips com ara Intel, Philips, IBM, Samsung, Motorola, NEC, etc., tenen les seves pròpies foses, n'hi ha, com Siemens, que les comparteixen amb altres empreses (és el cas de Raza Foundries, ubicada al Silicon Valley). També cal tenir en compte que moltes d'aquestes foses estan obertes per produir els xips d'altres empreses.

### Mite IV. De la descentralització d'Internet

Mite IV: Internet és una xarxa distribuïda, democràtica i no centralitzada en contrast amb les xarxes de telecomunicacions tradicionals.



GRÀFIC 1. Tendències en el nombre de transistors en CPU d'Intel.

Internet és una xarxa de xarxes amb una estructura jeràrquica que reflecteix el seu origen nord-americà (Projecte ARPA, Agència de Projectes de Recerca Avançada, del Departament de Defensa dels EUA, adjudicat originalment a les universitats americanes i a la NSF, Fundació Nacional per a la Ciència). La NSF va establir la primera xarxa Internet, que bàsicament unia universitats americanes. Després, aquesta xarxa que representa la màxima jerarquia a Internet (la coneguda com a tier 1, 'nivell 1') es va privatitzar i diverses companyies com ara MCI WorldCom, Sprint, AT&T i altres l'estan explotant i estenen. Qualsevol altra empresa del món, inclosos els operadors espanyols, han de connectar-se a aquesta xarxa de nivell 1 a través de només cinc punts d'accés anomenats NAP (punts d'accés a la xarxa), els primers dels quals estaven ubicats a les ciutats de San Francisco, Nova York, Washington, Chicago i Miami.

Els operadors que volen oferir serveis d'Internet estan estructurats en tres nivells més (els tier 2, 3 i 4). Els nivells 2 es connecten als NAP mencionats, i els nivells 3 i 4 als nivells 2.

Com que la xarxa evoluciona ràpidament, existeixen enllaços creuats entre els nivells 2, 3 i 4 de manera que l'estructura de la xarxa es va complicant i mallant, però mantenint la centralització sobre uns pocs punts ubicats

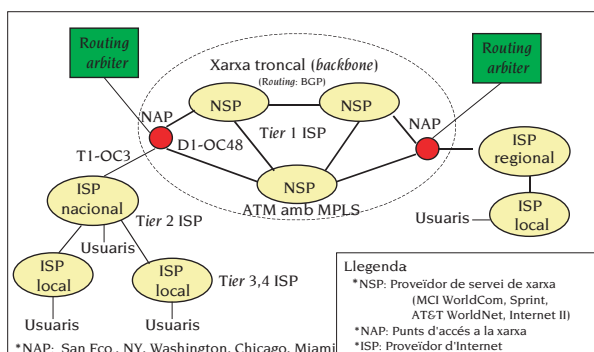


FIGURA 3. Estructura global de la xarxa Internet.

TAULA 4  
Trànsit d'Internet per anys

Trànsit de la xarxa troncal (backbone)	
1990-1994	100 % anual
1995-1996	1.000 % anual
1997-2000	100 % anual
2002	0 % anual

als EUA. Tot això s'ha representat a la figura 3. A Europa, l'estructura és d'una gran centralització sobre Londres, París, Amsterdam i Frankfurt, des d'on s'enllaça amb el NAP de Nova York. Des de Madrid, i des de tot Amèrica del Sud, s'enllaça amb el NAP de Miami.

Les realitats d'Internet que avalen el mite són que segueix unes normes obertes a tothom (es troben gratis a Internet, <http://www.ietf.org>), que és d'accés fàcil i obert, que tot el que es pot fer en els extrems s'hi fa i que, a causa de tot això, constitueix un sistema barat, participatiu i obert a múltiples aplicacions i a la seva integració.

### Mite V. Del creixement del trànsit d'Internet

Mite V: El trànsit d'Internet es duplica cada tres o quatre mesos (del web de l'ETSI, <http://www.etsi.org>, any 2003, i de Business Week, oct. 2000).

La realitat és, segons moltes fonts, que l'any 2002 el trànsit d'Internet no ha crescut gens i que d'altres anys encara que ha crescut molt no ha crescut tant com diuen l'ETSI i Business Week.

De la xerrada «Internet traffic growth: A gale or a hurricane» (<http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/talks/rhk.ppt>), feta per Andrew Odlyzko, d'ATTLabs, a la RHK StarTrax Conference (Palm Springs, Califòrnia, novembre de 2000), obtenim el quadre del trànsit d'Internet, detallat per anys, de la taula 4.

Possiblement, la dada donada per l'ETSI i Business Week es basa en el creixement del 1.000 % dels anys 1995 i 1996.

La realitat és que el creixement del trànsit varia molt i que la mitjana es pot considerar que està vora el 100 % anual, tal com es pot veure a la taula 4.

El fet que l'any 2002 no hagi augmentat ni als EUA, ni a Europa, ni a Espanya ni a Catalunya es pot argumentar per la crisi econòmica i de les empreses «punt com», efecte que amb tota seguretat serà passatger, de manera que podrà tornar a recuperar ràpidament el 100 % de creixement. Malgrat això, als EUA i a algunes àrees d'Europa on ja s'ha arribat a un 60 % de penetració d'Internet, la crisi de creixement pot tenir un component de saturació.

De tota manera, les noves aplicacions d'accés a Internet des de telèfons mòbils i les aplicacions d'entreteniment a casa (jocs, vídeo a la carta, etc.) permeten augurar la tornada al 100 % de creixement.



## Mite VI. Del protocol IP

Mite VI: *Tot serà IP (protocol d'Internet).*

L'IP és només un format de missatges que es va dissenyar fa més de vint anys (versió 4, la més estesa) i es refereix només al nivell de xarxa dels set que componen tot sistema. Per tant, l'IP és només un petit detall de xarxa en una norma complexa.

Val a dir, però, que malgrat aquest relativisme de la importància de l'IP, és bo que les diferents normes tinguin alguna base en comú i l'IP pot ser una bona base per a moltes normes, no per a totes.

Un obstacle per a algunes aplicacions que empren missatges curts és la llargada de les capçaleres. L'IPv4 té un camp d'adreces de només 4 bytes (32bits) i la capçalera dels missatges és de 24 bytes.

El «nou» (és de l'any 1995) IPv6 té 16 bytes d'adreça, però malgrat els seus vuit anys d'existència no s'ha acabat d'imposar sobre l'IPv4 per la gran base ja implantada d'aquest darrer. Això fa que la realitat actual sigui una barreja d'aquests dos protocols IP, cosa que permet fer-se la pregunta següent: A quin IP ens referim quan diem que tot serà IP?

L'IPv6 resol el problema de les adreces però en genera un altre. A causa de la necessitat de transmetre les adreces d'origen i destí, les capçaleres són de 40 bytes, excessivament llargues per a determinades aplicacions.

Malgrat això, un sol sistema d'adreces de tots els elements a escala mundial sembla desitjable per a força aplicacions, encara que pugui implicar una pèrdua d'eficiència.

Així com l'IPv4 ha alentit la implantació de l'IPv6, les tecnologies no IP ja implantades per les empreses de telecomunicacions tradicionals han frenat i seguiran frenant l'avanç de l'IP en general.

Moltes inversions en telecomunicacions es van planificar per durar trenta anys i les empreses faran tot el possible per no amortitzar-les abans, cosa que òbviament frenarà l'IP.

El que apareix aquí és un conflicte entre els terminis d'amortització típics de les telecomunicacions, que són de trenta anys, amb els del món informàtic, que poden ser de només tres anys. Caldrà veure com es resol. Possiblement serà una situació intermèdia.

Un altre aspecte negatiu de l'IP és que fa difícil garantir la qualitat de servei (QoS), atesa la seva orientació essencial de xarxa de paquets de dades sense garanties explícites (*best effort*) en oposició al concepte de trucades amb camins preestablerts.

## Mite VII. De la veu sobre protocol IP

Mite VII: *La telefonia serà tota VoIP (veu sobre IP).*

Aquest mite és una particularització del «tot IP» que permet il·lustrar-ho. Els operadors tradicionals no estan implantant la VoIP per la immensa base implantada de xarxes telefòniques tradicionals, en especial del tipus XDSI (xarxa digital de serveis integrats) que tenen.

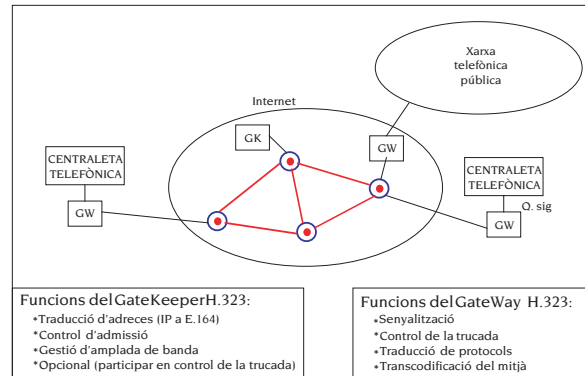


FIGURA 4. Un esquema d'una xarxa de veu sobre IP (VoIP).

La VoIP no és clara ni econòmicament ni tècnicament, malgrat que funciona. El cost dels terminals (telèfons IP) és alt, calen molts servidors especialitzats (*gatekeepers* i *gateways*), cal que la persona trucada tingui VoIP o un punt d'interconnexió amb la xarxa telefònica tradicional.

Per tal d'entendre més gràficament com és una xarxa de VoIP, a la figura 4 se'n representa una estructura típica.

Cal mencionar també que l'eficiència dels missatges és baixa ja que aquests són curts i les capçaleres IP llargues.

També té el problema de la multitud de normes. Així, per comprimir veu només la ITU té unes 14 normes (G.711, G.723, G.729, H.323, etc.)

També hi ha dos estàndards per a protocols de VoIP, són l'H.323 de la ITU i el SIP de la IETF. Torna a reproduir-se en l'àmbit de VoIP la tradicional competència entre normes internacionals d'òrbita americana i les d'òrbita europea que ja s'ha mencionat abans. De fet, les xarxes de VoIP actualment estan obligades a suportar els dos estàndards i a fer que coexisteixin.

Altres problemes són els retards de les xarxes IP, que són significatius per a una aplicació de temps real com ara la telefonia, que requereix uns temps de transmissió d'extrem a extrem inferiors a 300 ms i millor si poden ser de 150 ms. Això fa que les xarxes de VoIP hagin de planificar amb molta cura tot el tema de retards, cosa que implica controlar també l'estructura de la xarxa per evitar excessius salts entre nusos i, en molts casos, sobredimensionar els enllaços i els commutadors per tal de garantir-ne una utilització baixa.

Com a factor positiu de la VoIP, cal mencionar la possibilitat d'integrar serveis. Això vol dir que una sola xarxa podria suportar tant el trànsit de veu com el de dades i que, per tant, amb una sola xarxa n'hi hauria prou. És un argument econòmic de pes. Curiosament i malgrat això, la VoIP no ha tingut gaire acceptació a les xarxes d'empresa on teòricament seria més fàcil d'implantar.

## Reflexions sobre la qualitat de servei a Internet

Ja s'ha mencionat que la QoS és un problema degut a la pròpia naturalesa d'Internet de xarxa de paquets gestionada de la millor manera pràctica però sense garanties explícites.

Aquesta dificultat es materialitza en l'esforç continu per generar normes de QoS per a Internet i en el fracàs, fins ara, de totes.

Les normes de QoS per a Internet són les següents:

— Any 1981: Gestió de les prioritats i de la ToS (*type of service*).

— Any 1995: *Stream protocol*.

— Any 1997: Protocol RSVP (*reservation protocol*).

— Any 2003: DiffServ, serveis diferenciats (en preparació).

El desenvolupament de cadascuna d'aquestes normes ha significat el fracàs de l'anterior. Caldrà veure què passarà amb la DiffServ, ara en preparació.

La norma RSVP s'usa en algunes situacions, però molt poc.

La reflexió que cal fer aquí és si realment cal una norma de QoS per a Internet. Totes les normes anteriors impliquen complicar la xarxa, cosa que necessàriament es tradueix en menys capacitat i més cost dels commutadors. Té algun sentit fer això?

De fet, fins ara Internet s'ha basat que tot el que es pugui fer als extrems de la xarxa s'hi faci, cosa que és el mateix que dir que la xarxa internament ha de ser tan senzilla com sigui possible. Per això es pot considerar que moltes normes de QoS van contra la mateixa essència d'Internet, i per això la norma de serveis diferenciats, que ara està en preparació, intenta usar mecanismes senzills i autònoms que en conjunt permetin controlar la QoS de la xarxa complicant-la el mínim imprescindible.

Les dues tendències, la de complicar o sofisticar Internet i la de mantenir-la senzilla segueixen vives.

A l'extrem de la simplificació màxima se situa l'article «The end of the middle» de David S. Isenberg (*IEEE Spectrum*, vol. 40, núm. 1 [2003], p. 37-38). En aquest article s'afirma que la xarxa només ha de transportar bits del punt A al punt B, que no ha de ser específica de cap aplicació i que només mecanismes senzills i barats poden tenir èxit.

En canvi, el projecte europeu FAIN (*future active IP networks*) possiblement sigui una tendència nova en el sentit de sofisticar la xarxa.

A les conclusions es concretaran una mica més aquestes reflexions.

### Mite i realitat: més mobilitat

La tendència cap a més mobilitat és un mite que coincideix amb la realitat. La mobilitat és molt ben rebuda pel mercat, i la tecnologia permet elements mòbils cada cop més capaços. Per tant, en els propers anys veurem una gran explosió d'encara més mobilitat. Més xarxes mòbils, més aplicacions mòbils i més terminals de tota mena mòbils i portàtils.

La base és la tecnologia cel·lular i els nous sistemes de modulació i codificació: OFDM (*orthogonal frequency division*

*multiplexing*), TDT (televisió digital terrestre), IEEE802.11, ETSI (Hiperlan2) i CDMA (accés múltiple per divisió de codi), UMTS i CDMA2000.

A les revistes especialitzades estan apareixent un gran nombre d'articles d'investigació sobre OFDM i CDMA, les tecnologies de la mobilitat.

La dificultat més important en aquesta tendència és la necessitat d'obrir més bandes de freqüència, un bé escàs, per a aquestes tecnologies. Una altra dificultat són les diferents assignacions de freqüències a diferents parts del món i, específicament, als EUA i a Europa.

També hi ha un conflicte entre els estàndards de les òrbites europea i americana: UMTS *versus* CDMA2000 (malgrat la iniciativa unificadora IMT2000 de la ITU) i IEEE802.11 *versus* ETSI Hiperlan 2. Fins i tot la norma IEEE802.11 pot limitar el mercat de l'UMTS.

Per tal de sistematitzar les normatives més rellevants de la mobilitat, se'n presenta una llista amb les principals característiques a la taula 5.

Cal centrar-se en l'UMTS perquè és la nova tecnologia mòbil prevista per a Europa. A Espanya, un acord entre el Ministeri de Ciència i Tecnologia i els quatre futurs operadors d'UMTS sembla que assegura que les proves començarien el 2003 i el servei el 2004. El problema és que l'any 2000 l'UMTS ja es considerava imminent, fins i tot en els àmbits tècnics, però es va produir un retard per problemes de producció, falta de convenciment i pels preus desorbitats pagats per les llicències a molts països. Aquest retard, que ara és ja de tres anys, ha permès l'aparició i el desenvolupament de la tecnologia de xarxes locals ràdio o WLAN, de les quals la més representativa és l'estàndard IEEE 802.11 o Wi-Fi. Aquesta tecnologia, que permet connectar l'ordinador portàtil via ràdio a una velocitat que va d'11 Mbit/s a 54 Mbit/s, s'està estenent ràpidament pels EUA i l'Àsia, i inexorablement s'implantarà a Europa. De fet, la implantació a Espanya en aeroports, hotels, etc., ja ha començat.

La tecnologia Wi-Fi, però, també té problemes. D'entrada, està formada per moltes versions, una de les quals, la versió 802.11b, fa servir la banda de 5 GHz, que als EUA és oberta però que a Espanya és d'ús militar. La tecnologia IEEE802.11a té menys problemes perquè s'usa a tot arreu per a aplicacions ISM (industrials, científiques i mèdiques).

Un altre problema de la tecnologia Wi-Fi és que, de moment, no preveu la itinerància (pas suau d'una cèl·lula a una altra), de manera que és més adequada per a zones especials i aïllades, com ara hotels i grans espais singulars, que no pas per cobrir tot el territori.

Finalment el gran repte que la tecnologia 802.11 presenta a l'UMTS és que s'anirà quedant més part del seu mercat de dades, cosa que permet assegurar que si l'UMTS es retarda més, cada cop tindrà més problemes de rendibilitat.

TAULA 5  
Les normes de la mobilitat

Any	Estàndard	Tecnologia	Freqüència (MHz)	Aplicació	País
1970	AMPS ( <i>advanced mobile phone service</i> )	Analògic/1G	850	Telefonia	EUA
	NMT	1 G/analògica	450	Telefonia	Suècia, Espanya
1980	GSM (ITU)	2 G		Telefonia 9600 bit/s	Europa
	DAMPS ( <i>digital AMPS</i> )	Digital TDMA (accés múltiple per divisió de temps)	900		EUA
	GPRS (servei general de paquets de ràdio)	2,5 G/diversos canals GSM		40-60 Kbit/s	Europa
	PCS ( <i>personal communications service</i> )	Digital	1900		TIA/EUA
	CDMA2000	3 G/CDMA		Ve u i dades 144 Kbit/s (mínim) – 384 Kbit/s (caminant) 2 Mbit/s (quiet)	EUA
1997- 2000	UMTS (ITU)	3 G/IPv6/ WCDMA	1900	Ve u i dades 144 Kbit/s (mínim) – 384Kbit/s (caminant) 2 Mbit/s (quiet)	Europa A Espanya el servei havia de començar el 2003
	IMT-2000 (ITU)	3 G			Convergència Europa-EUA
	I-mode			Dades	Japó
1999	IEEE802.11a	OFDM	2400	LAN ràdio 11 Mbit/s	Internacional/EUA
	IEEE802.11b (Wi-Fi)	OFDM DSSS CSMA/CD Wireless Ethernet	5000	LAN ràdio 11-22 Mbit/s (WLAN) 60 m d'abast	Internacional/EUA
2001	Hiperlan/2 (ETSI)	OFDM	2400 5000	54 Mbit/s QoS Eficiència	Europa
2002	IEEE802.15 (Bluetooth)		2400	1 Mbit/s 10 m d'abast (WPAN)	Internacional/EUA
2003	IEEE802.11g	Compatible amb 802.11b DSSS	5000	54 Mbit	Internacional/EUA

Tanmateix, el Wi-Fi difícilment desplaçarà l'UMTS, per les dificultats mencionades de freqüències i itinerància, encara que li anirà retallant el mercat.

Això dibuixa un escenari de coexistència de les dues tecnologies on la conveniència d'interfuncionament entre els dos sistemes pot produir nous estàndards, l'aparició de terminals híbrids o d'altres efectes.

## Tendències

S'ha vist la tendència que té el trànsit d'Internet a duplicar-se cada dotze mesos. Però per veure quines són les tendències i problemes de les telecomunicacions actuals i tractar de preveure el futur cal analitzar altres tendències que permetin contestar preguntes crítiques com ara si les xarxes, encaminadors i enllaços podran suportar l'increment de trànsit que s'està produint o si l'evolució de l'accés domiciliari és l'adequada.

Per tal de respondre aquestes preguntes, en la taula 6 s'ha analitzat l'evolució d'algunes variables rellevants

com ara la velocitat d'accés domiciliari, la capacitat de commutació dels encaminadors, la capacitat de transmissió de la fibra òptica, la capacitat de transmissió de dades de les xarxes mòbils i la capacitat dels enllaços de la xarxa Internet troncal per veure a quina velocitat evolucionen, i deduir, tenint en compte a més a més els estudis actuals, quina serà l'evolució i els colls d'ampolla futurs.

La taula 6 no és exhaustiva en absolut, però permet definir unes tendències. Seria interessant que estudis més acurats poguessin seguir aquesta línia de recerca.

De les tendències de la taula 6 és clar que la dominant és que la capacitat de transmissió d'una sola fibra òptica s'està accelerant i que ara es duplica cada sis mesos, a part del fet que un cable pot tenir moltes fibres òptiques.

També queda clar que l'evolució de la capacitat d'accés domiciliari queda molt per sota de les altres evolucions.

Una altra tendència d'interès mencionada per diverses fonts és que la duplicació de la capacitat d'emmagatzematge en disc dur es produeix cada dotze mesos.



TAULA 6  
Altres tendències

Any	Velocitat d'accés domiciliari econòmica (bit/s)	Capacitat de commutació d'encaminadors (Mbit/s)	Capacitat de la fibra òptica (Mbit/s)	Transmissió de dades mòbils (bit/s)
1985			2	
1990	9.600	1.000		
1994				
1995		12.000		
1997	56.000			9.600
2000		800.000		
2001			800.000	57.600
2003	256.000	5.000.000	8.000.000	386.000
Mesos per a la duplicació	42	11	9→6	15

En l'apartat de conclusions es desenvoluparan més conclusions basades en aquestes dades.

### Línies de treball actuals

Les llistes següents remarquen les línies de treball més importants durant l'any 2002 i el que portem de l'any 2003 de la IETF, l'ETSI i l'IEEE. De la darrera, se n'analitzen tant l'activitat estandarditzadora com els articles de recerca en telecomunicacions apareguts a les revistes que publica. Aquestes llistes no intenten ser exhaustives, sinó només representatives i orientatives.

#### Línies de treball actuals de la IETF (2002-2003)

La IETF, com no podria ser d'altra manera, està centrada en l'evolució i millora d'Internet. Les seves activitats més rellevants actualment són les següents:

1. Millores dels protocols actuals d'Internet
  - Millores del TCP, SNMP/MIB, BGP, DHCPv4
2. Coexistència de l'IP amb altres sistemes
  - Interconnexió Internet altres sistemes (XDSI, ATM, Sonet, etc.)
3. Protocols per a aplicacions emergents

TAULA 7  
Rànquing de tendències. Mesos per duplicar la capacitat

Capacitat de la fibra òptica	6 mesos
Capacitat de commutació d'encaminadors	11 mesos
Trànsit d'Internet	12 mesos
Capacitat d'emmagatzematge en disc dur	12 mesos
Transmissió de dades mòbils	15 mesos
Capacitat d'integració en silici	32 mesos
Velocitat d'accés domiciliari econòmic	42 mesos

- SIP (protocol d'inici de sessió) (VoIP, competidor d'H.323)
- TRIP (*telephony routing over IP*)
- Mobilitat IP
- Compensació de capçaleres
- IPv6
- RTP (protocol de transport en temps real)
- Difusió selectiva (*multicast*)
- SCTP (*stream control transmission protocol*)
- MGCP (*media gateway control protocol*)
- GMPLS+DiffServ (serveis diferenciats)
- IPsec (criptografia, autenticació, integritat, confidencialitat, control d'accés)
- GSMP (*general switch management protocol*)

#### Línies de treball actuals de l'IEEE (2002-2003)

L'IEEE ha centrat l'activitat estandarditzadora que porta a terme en les xarxes d'accés via ràdio (WLAN, Wi-Fi, WPAN, WMAN, etc.), en l'accés a les llars (última milla) i en l'evolució d'Ethernet, com ho demostren les activitats estandarditzadores de l'any 2002 resumides en la llista següent:

1. Mobilitat
  - Xarxes locals via ràdio. WLAN. Wi-Fi. (802.11) (*a*: 11 Mbit/s, 1999) (*b*: 2,4 GHz, 11-22 Mbit/s, 1999) (*g*: 54 Mbit/s)
  - Xarxes personals (WPAN) (802.15, Bluetooth)
  - Alta velocitat en autopistes (802.20) (250 km/h, 3,5GHz Hz, VoIP) (2004)
  - Xarxes metropolitanas via ràdio (WMAN) (10-66 GHz) (802.16)
  - Extensió per a aplicacions residencials (802.16a) (2-11 GHz)
2. Accés
  - *Ethernet in the First Mile*. Accés fix a les cases per parells de coure (G.SHDSL) (2700 m) i per F. O. (EPON) (802.3ah)
3. Xarxes locals fixes
  - Ethernet de 10 Gbit/s (802.3ae)
4. Xarxa Internet
  - API (interfície per a la programació d'aplicacions) per a xarxes (P1520) (connexió amb FAIN/IST, UPC)

#### Línies de recerca recents a revistes de l'IEEE

Els temes més investigats i rellevants d'acord amb els articles publicats a les revistes IEEE *Transactions on Communications*, IEEE *Communications Magazine*, IEEE *Computer Magazine*, IEEE *Transactions on Networking* i IEEE *Spectrum* durant el 2002 són els següents:

- Modulació OFDM (estimació del canal, sincronització)

- Espectre eixamplat. CDMA, combinació amb OFDM
  - Codis Turbo
  - PRMA (*packet reservation multiple access*, veu per a sistemes cel·lulars amb cèl·lules petites)
  - Antenes intel·ligents per obtenir més amplada de banda i menys interrupcions
  - Xarxes ràdio (mobilitat, eficiència, etc.). Xarxes AD-HOC
  - Comunicacions caòtiques
  - XDSL
  - Comunicacions òptiques (conduïdes i directes) (DWDM, xarxes, encaminament, etc.)
  - Integració IP/Òptica
  - QoS en xarxes IP
  - MPLS. Encaminament Multicast. Protocols de transport (per a imatges, millores TCP, etc.)
  - Xarxes a la llar. *Gateway* unificat per a la llar
- Clarament, la recerca està centrada en la mobilitat i les xarxes òptiques i, en menys mesura, en accés a les llars, xarxes a les llars, IP i QoS.

### Línies de treball actuals de l'ETSI

L'ETSI treballa en quasi tots els àmbits de les telecomunicacions. Les seves activitats més rellevants són les següents:

- UMTS
- 3GPP (evolucions del GSM: GPRS, EDGE)
- VoIP
- IPCablecom (veu sobre IP per cable)
- XDSL
- PLC (*power line communications*)
- VPN (xarxa privada virtual)
- Hiperlan (competidor de Wi-Fi) més eficient i amb més QoS
- ATM (mode de transferència asíncrona)
- DTM (*dynamic synchronous transfer mode*)
- EMC (*electromagnetic compatibility*)
- Cases i edificis intel·ligents (ho porta més aviat el CENELEC)
- TDT (televisió digital terrestre)

### Conclusions

Les línies de recerca i d'estandardització actuals estan molt centrades en tres aspectes:

1. la mobilitat;
2. Internet;
3. les xarxes òptiques, i en menys mesura, en l'accés i xarxes a les llars.

L'article analitza també les tendències en capacitat de les tecnologies clau, que es resumeixen en la taula 7.

En la taula 7 queda clar que la tendència tecnològica dominant és la millora de la capacitat de transmissió d'una

sola fibra òptica, que s'està accelerant i que ara es duplica cada sis mesos, i això a part del fet que un cable pot tenir moltes fibres òptiques. La investigació en DWDM, elements *sub-wave length*, connectivitat optoelectrònica, indiquen que les comunicacions òptiques seguiran amb millores continuades.

La capacitat dels encaminadors segueix l'evolució del trànsit d'Internet molt ajustadament, però no pot amb l'evolució de la capacitat de les fibres. La capacitat d'integració en silici no és suficient per a l'evolució prevista dels encaminadors de la xarxa troncal. La commutació directament òptica pot resoldre el problema en els encaminadors de la xarxa troncal emprant tecnologies com l'IPoDWDM, que poden permetre un nou salt endavant en capacitat.

La gran capacitat de transmissió, excés i tot, permetrà una centralització encara més gran d'aplicacions i servidors de tota mena dins de cada domini o empresa per rons d'economia i control i de més oferta de serveis.

La velocitat d'accés domiciliari no evoluciona prou bé i la d'accés via mòbils, tampoc, tot i que és millor.

L'evolució d'aquesta xarxa sembla completament necessària i les opcions són l'accés òptic amb tecnologies com l'EPON (*Ethernet passive optical network*) o l'accés via WLAN (*wireless LAN*) en la seva variant Wi-Fi (IEEE802.11a, b, etc.) o d'altres. Per capacitat, la primera sembla més adequada, però la gran inversió necessària, el temps que cal per desplegar-la i la gran acceptació de la mobilitat per part del mercat fan pensar en un futur híbrid on moltes xarxes seran WLAN prop de l'usuari amb una connexió de les cèl·lules WLAN a fibra òptica (inicialment a XDSL o cable).

Això indica que la definició d'arquitectures d'interfuncionament i d'interconnexió entre la xarxa òptica i la de distribució de ràdio és un element essencial per dissenyar xarxes reals.

El coure seguirà evolucionant tecnològicament, com ho suggereix l'activitat investigadora, però té un sostre que s'assolirà en pocs anys. El cable es pot trobar en una pinça de tecnologies.

La dificultat per renovar la xarxa d'accés, la mateixa demanda, i l'evolució favorable de la capacitat d'emmagatzematge en disc dur faran que s'estenguin els concentradors/passarel·les domòtics amb emmagatzematge *local* i les xarxes a la llar. Permetran aplicacions d'entreteniment a les cases. Si és possible fer-ho sense cablejar (WLAN, PLC), s'estendrà ràpidament, encara que limitadament.

Quan la xarxa d'accés arribi a ser majoritàriament òptica, la capacitat de transmissió de la fibra farà possible un escenari on serà més econòmic anar a buscar les dades quan es necessitin, inclosos els continguts «pesants» com les pel·lícules. El problema és que aquest escenari tardarà encara uns quants anys.

La capacitat d'integració en silici sembla insuficient, però probablement serà suficient per als terminals i la perifèria de la xarxa. Les noves tecnologies de miniaturització (nanotubs, enginyeria molecular, espintrònica, memòries micromecàniques) poden accelerar el procés en el futur. Encara que el silici està guanyant terreny en el cost dels

terminals i perifèria en general, en aquest àmbit el *software* seguirà sent dominant i font d'oportunitats.

La gran recerca en temes de mobilitat garanteix una millora clara de la capacitat en la mobilitat a tot arreu, en cotxe, a casa, al carrer. Els treballs en OFDM, CDMA, Turbo Codes i antenes intel·ligents ho indiquen.

El retard en l'UMTS ha deixat temps per al naixement de tecnologies com les WLAN (Wi-Fi, IEEE802.11) de gran èxit als EUA i a l'Àsia.

Les aplicacions més centrades en l'ordinador portàtil i en la necessitat d'amplades de banda considerables utilitzaran preferentment les tecnologies WLAN, fet que restarà capacitat a l'UMTS. Els problemes d'escassetat de bandes de freqüència i de falta de capacitat d'itinerància limitaran de moment l'extensió de les WLAN a Europa.

El tema de la itinerància, però, es pot resoldre amb un nou estàndard o millorant els actuals, cosa que probablement es farà realitat. El problema de les freqüències es pot resoldre fent cèl·lules més petites i obrint noves bandes de freqüència més altes.

La dada que la capacitat d'accés des de mòbils es duplica cada quinze mesos s'ha obtingut a partir del fet que l'UMTS permet 386 Kbit/s en situació de moviment. La relativa dificultat per seguir el trànsit que es generarà la pot solucionar el Wi-Fi (IEEE802.11), que permet 11 Mbit/s, 22 Mbit/s o fins i tot 54 Mbit/s, però compartits.

Cal concloure que si l'UMTS es retarda més pot tenir problemes que poden arribar a ser crítics per al negoci. La predicció és que el futur mòbil no serà tan senzill i monogràfic com tothom creia. La coordinació WLAN/UMTS serà necessària.

Apareixeran múltiples dispositius, amb capacitat d'interconnexió, per cobrir diverses aplicacions que seran possibles per la gran capacitat en mobilitat, i les tecnologies de compressió i tractament de la veu tindran un important impacte en els serveis.

El paradigma de les telecomunicacions del nostre temps, *Internet*, és una xarxa de xarxes originada en un projecte del Departament de Defensa dels EUA amb una estructura jeràrquica de quatre nivells tal que, per accedir a la primera jerarquia, cal connectar-se a uns quants punts d'accés (NAP), tots ubicats als EUA.

Internet és la xarxa de telecomunicacions el trànsit de la qual creix més de pressa. Aquest creixement varia molt segons l'any considerat. Encara que l'any 2002 no ha crescut es pot suposar que el creixement tornarà a ser del 100 % anual (mitjana durant deu anys) gràcies a les noves aplicacions d'accés a Internet des de telèfons mòbils i les aplicacions d'entreteniment a casa (jocs, vídeo a la carta, etc.) i d'altres.

Diverses iniciatives, incloent-hi algunes propostes d'estàndards per a QoS, van contra la mateixa essència d'Internet, la seva senzillesa. Només mecanismes senzills i efectius poden tenir èxit a l'interior de la xarxa i aquesta s'ha de limitar a transportar bits sense ser específica de

cap aplicació. La increïble evolució de la capacitat dels sistemes òptics ho fa encara més necessari i possible.

La necessitat de QoS és especialment important en un entorn on la demanda excedeix l'oferta, que no és l'actual encara que pot tenir algun sentit en l'accés.

Malgrat el creixement d'Internet, les tecnologies ja implantades seguiran desenvolupant-se, encara que només sigui pel grau d'inversió existent, adaptant-se si escau a l'entorn IP. Pel que fa a això, només cal recordar com els mòdems tradicionals s'han adaptat a diferents entorns quan als anys vuitanta molts en cantaven la mort a mans de l'XDSL. En altres casos, senzillament, el protocol IP no serà la solució, per la mateixa naturalesa del protocol IP i de la xarxa Internet. En qualsevol cas, és bo que hi hagi una base comuna per a moltes tecnologies.

La VoIP està rebent molta atenció. Evolucionarà positivament però no ho substituirà tot.

Apareix aquí un conflicte entre els terminis d'amortització de telecomunicacions, que són típicament de trenta anys, i els del món informàtic, que poden ser de només tres anys. Possiblement caldrà considerar terminis d'amortització per a cada element de la xarxa amb una gran dispersió de valors.

L'estandardització és un procés consubstancial a les telecomunicacions. Els organismes d'estandardització competeixen i col·laboren en una relació complexa; fins i tot els estàndards produïts per una mateixa organització competeixen entre si pel mercat. L'estandardització amb base als EUA competeix molt sovint amb la de base europea.

El procés de desenvolupament tecnològic i d'estandardització implica un retard mitjà de cinc anys en la definició de sistemes de telecomunicació (aparició del primer estàndard) i de deu anys en la seva implantació. De les tecnologies desenvolupades i estandarditzades, finalment se n'implanta un subconjunt que depèn del mercat i de condicionants geopolítics. ■

## Bibliografia

- «El proyecto nanodrive». *Investigación y Ciencia* (2003).
- «Special issue on Internet technology and convergence of communications services». *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, núm. 9 (setembre 2002).
- AWSCHALOM, D. [et al.]. «Espintrónica». *Investigación y Ciencia*, núm. 311 (agost 2002).
- BING, B.; NEE, R. van; HAYES, V. «Wireless local area and home networks». *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, núm. 11 (novembre 2001).
- BOIVIE, R.; FELDMAN, N.; METZ, C. «Small group multicast: A new solution for multicasting on the Internet». *IEEE Internet Computing*, vol. 4, núm. 3 (maig/juny 2000), p. 75-79.

- GEPPERT, L. «The amazing invisible transistor act». *IEEE Spectrum*, vol. 39, núm. 10 (octubre 2002), p. 28-33.
- HUBER, J. F. «Toward the mobile Internet». *Computer*, vol. 35, núm. 10 (octubre 2002), p. 100-102.
- KAISER, S. «OFDM code division multiplexing in fading channels». *IEEE Transactions on Communications*, vol. 50, núm. 8 (agost 2002), p. 1266-1273.
- ODLYZKO, Andrew. «Internet traffic growth: A gale or a hurricane» [en línia]. <<http://www.dtc.umn.edu/~odlyzko/talks/rhk.ppt>>
- Revista de Telecomunicaciones de Alcatel* (2001).
- VITERBI, A. «Spread spectrum communications: myths and realities». *IEEE Communications Magazine*, vol. 17, núm. 3 (maig 1979), p. 11-18.
- WALICH, Paul «Digital Hubbub». *IEEE Spectrum*, vol. 39, núm. 7 (juliol 2002).
- WORLD, L. «End-to-End Internet: IETF looks at wireless». *IEEE Internet Computing*, vol. 4, núm. 3 (maig/juny 2000), p. 80-81.

Adreces d'Internet  
European Telecommunications Standards Institute  
<http://www.etsi.org>  
IEEE Spectrum. 2003 IEEE Technology Survey  
<http://www.spectrum.ieee.org>  
Institute of Electrical and Electronics Engineers  
<http://www.ieee.org>  
Internet Engineering Task Force  
<http://www.ietf.org>