
Context actual i evolució cap a les xarxes de nova generació

PID_00265726

Helena Rifà Pous
Rafael Gallego Terris
Víctor Huertas García

Temps mínim de dedicació recomanat: 4 hores



**Helena Rifà Pous**

Enginyera en Telecomunicacions i doctora per la Universitat Politècnica de Catalunya. És professora agregada dels Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicacions de la UOC. Actualment és la directora del Màster Interuniversitari en Seguretat TIC. Forma part del grup de recerca KISON. Les seves línies de recerca se centren en el camp de la seguretat en xarxes obertes (*p2p*, *ad hoc*, ràdio cognitiva). En aquest camp ha publicat més de trenta articles en revistes i congressos internacionals i ha dirigit més de quaranta projectes de grau i de màster.

**Rafael Gallego Terris**

Enginyer Superior en Telecomunicacions per la Universitat Politècnica de Catalunya i Màster en Comunicacions Digitals per Télécom Brest, ha treballat com a Enginyer de Recerca en la indústria de les Comunicacions Mòbils a Wavecom/Sierra Wireless (París) i com a Enginyer de Desenvolupament, Proves i Sistemes en el sector de les Comunicacions per Satèl·lit a Indra (Barcelona). Imparteix també docència com a professor Associat a la Universitat Autònoma de Barcelona, en el departament d'Enginyeria de Sistemes.

**Víctor Huertas García**

Enginyer en Telecomunicacions per la Universitat Politècnica de Catalunya. Actualment treballa com a enginyer de *networking* i expert en NGN/IMS al departament d'Equips de Comunicació a la multinacional Indra Sistemes. Ha participat en nombrosos projectes de l'ESA (Agència Europea de l'Espai) de recerca sobre l'aplicació de la tecnologia IP en xarxes satèl·lit. Recentment ha participat en projectes d'integració d'IMS a les xarxes satèl·lit per a aconseguir la convergència amb xarxes terrestres.

L'encàrrec i la creació d'aquest recurs d'aprenentatge UOC han estat coordinats pel professor: Víctor García Font (2019)

Segona edició: setembre 2019

Autoria: Helena Rifà Pous, Rafael Gallego Terris, Víctor Huertas García

Llicència CC BY-NC-ND d'aquesta edició, FUOC, 2019

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Realització editorial: FUOC



Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada (BY-NC-ND) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya), no en feu un ús comercial i no en feu obra derivada. La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/legalcode.ca>

Índex

Introducció	5
Objectius	7
1. Evolució de les aplicacions i usos de les xarxes	9
1.1. Una mica d'història: d'on provenen les xarxes NGN?	9
1.1.1. Mitjan 1990-2000: els inicis d'Internet i la telefonia mòbil	10
1.1.2. Finals de 1990-2000: <i>boom</i> mundial d'ús d'Internet i els serveis associats	11
1.1.3. Principis de 2000-2010: migració a <i>All-IP</i>	12
1.1.4. Mitjan 2000-2010: Internet al mòbil	12
1.1.5. Finals de 2000-2010: <i>boom</i> dels <i>smartphones</i>	13
1.1.6. Principis de 2010-2020: IMS i les NGN es converteixen en realitat	14
1.1.7. Mitjan 2010-2020: fibra òptica, 4G i els inicis de xarxes IoT	15
1.1.8. Finals de 2010-2020: 5G i la convergència entre tecnologies	17
1.2. El camí cap a la convergència	17
1.2.1. Què aporten les xarxes de nova generació als diferents actors en el món de les telecomunicacions? ...	18
2. Context actual de les aplicacions i usos de les xarxes	19
2.1. Sistemes distribuïts	19
2.1.1. Computació en el núvol (<i>cloud computing</i>)	19
2.1.2. Computació <i>grid</i>	21
2.2. Xarxes socials i comerç electrònic	22
2.2.1. Xarxes socials	22
2.2.2. Comerç electrònic	23
2.3. Serveis multimèdia amb alt grau d'interactivitat	23
2.4. Accés a continguts multimèdia	24
2.5. Internet de les coses (IoT)	25
2.5.1. Comunicacions màquina-màquina (M2M)	27
2.5.2. Ciutats intel·ligents	28
2.5.3. Domòtica	30
2.5.4. Conducció autònoma	30
3. Tipus de xarxes de telecomunicacions segons la seva tecnologia	32
3.1. Segments que conformen una xarxa de comunicacions	32

3.2.	Tecnologies cablejades	33
3.2.1.	El cable parell de coure	33
3.2.2.	Cable coaxial	34
3.2.3.	Xarxes de potència	35
3.2.4.	Fibra òptica	36
3.3.	Tecnologies sense fils	37
3.3.1.	Xarxes d'accés d'àrea personal (PAN) i domèstica (HAN)	38
3.3.2.	Xarxes d'accés d'àrea local (LAN)	39
3.3.3.	Xarxes d'accés d'àrea metropolitana (MAN)	40
3.3.4.	Xarxes cel·lulars	41
3.3.5.	Xarxes de satèl·lits	44
4.	L'evolució dels models de comunicacions i l'ús de les xarxes.	48
4.1.	El camí cap a la 5G	49
4.2.	Virtualització de la xarxa	51
Resum	.....	53
Exercicis d'autoavaluació	.....	55
Solucionari	.....	56
Glossari	.....	57
Bibliografia	.....	58

Introducció

Les xarxes de comunicacions s'han convertit en un element clau de la infraestructura econòmica d'un país, sobretot des del desenvolupament d'Internet. L'aparició de xarxes d'alta velocitat i el fet que aquestes estiguin disponibles tant per a usuaris residencials com per a empreses han fet aparèixer una nova gamma de serveis que han elevat la importància de les infraestructures de comunicació en la societat actual. Serveis en línia en àrees com l'educació, la salut i el medi ambient, així com el desplegament de les xarxes socials, exerceixen un paper fonamental en el desenvolupament de la societat del coneixement.

Si bé en un primer moment la majoria d'aquests serveis estaven associats a les xarxes fixes, l'evolució continua de les xarxes mòbils permet difuminar cada vegada més les fronteres i oferir una cobertura gairebé global. En aquesta línia, la futura generació de telefonia mòbil (5G), amb velocitats de transferència més elevades i latències encara més baixes, permetrà donar resposta a la nova demanda d'aplicacions, les quals són de molt diversa índole. Podem destacar les aplicacions de IoT (*Internet of Things*), que estan en desenvolupament continu en les ciutats intel·ligents (*smart cities*) o en camps com la salut digital (*eHealth*) o el cotxe autònom.

La dependència actual en les comunicacions està impulsant una nova revolució tecnològica que permeti la cobertura universal de les xarxes i la ubiqüitat dels serveis d'Internet. El conjunt de sistemes, tecnologies i protocols que han de permetre emprar Internet en qualsevol dispositiu, en qualsevol lloc, moment i situació, és el que denominem xarxes de nova generació (*Next Generation Networks*, NGN). Les NGN són xarxes de banda ampla que permeten la integració de serveis de dades, veu i vídeo amb garantia de qualitat de servei extrem a extrem mitjançant l'ús dels protocols d'Internet.

Per aconseguir la ubiqüitat d'Internet s'ha de treure tot el potencial de les noves tecnologies de xarxa. És necessari que les NGN tinguin caràcter universal, i se n'ha d'assegurar l'adequada cobertura en diferents zones geogràfiques. Per a això, és important que els mercats siguin realment competitius, la qual cosa pot requerir el desenvolupament de noves polítiques. La regulació ha de permetre que els beneficis potencials de les NGN es difonguin ràpidament en les economies i en la societat, i han d'estimular la creació de nous serveis.

Les xarxes de nova generació (NGN) busquen la integració de xarxes heterogènies de transport de paquets (com IP) perquè puguin usar-se en l'intercanvi de tota classe d'informació. La xarxa ha de garantir qualitat de servei (QoS) per a diferents tipus de tràfic i nivells de prioritat de dades, com el vídeo i la veu en temps real. A més, es vol separar totalment el pla de gestió de la xarxa (senyalització i control) del pla de commutació i transport, utilitzant interfícies

obertes i estàndards que permetin el desplegament ràpid de tots els serveis, i la possibilitat que terceres entitats puguin crear fàcilment nous serveis alhora que es mantenen els serveis tradicionals.

Les principals característiques de les NGN es poden resumir en els punts següents:

- Basades en commutació de paquets.
- Arquitectura de xarxa consistent en una capa de transport, control de serveis i aplicació totalment separats i independents.
- Interfícies obertes.
- Integració de serveis.
- Capacitats de banda ampla amb qualitat de servei extrem a extrem.
- Integració amb les xarxes heretades (anomenades *legacy networks*).
- Suport a una mobilitat total que permet la provisió ubíqua de serveis.
- Accés sense restriccions dels usuaris a diferents proveïdors.
- Esquemes variats d'identificació d'usuaris.
- Serveis unificats i dissenyats segons la percepció de l'usuari.
- Convergència de serveis fix-mòbil.
- Definició de la xarxa segons els requisits regulatoris.

En aquest mòdul farem una revisió del context sociotecnològic actual i presentarem les xarxes d'accés de nova generació més destacades. En els mòduls següents d'aquests materials es tractarà sobre les tecnologies i els protocols del nucli de la xarxa.

Objectius

En els materials didàctics d'aquest mòdul l'estudiant trobarà els continguts necessaris per a assolir els objectius següents:

- 1.** Tenir una visió del context actual de les aplicacions i els usos de les xarxes de telecomunicacions.
- 2.** Conèixer l'evolució de les xarxes de telecomunicacions al llarg de la història i la influència del mercat per comprendre com s'ha arribat a les NGN.
- 3.** Prendre consciència dels canvis socials associats a l'evolució de les xarxes.
- 4.** Conèixer les principals tecnologies de xarxa cablejades i sense fils.
- 5.** Conèixer les xarxes d'accés que poden donar lloc a les NGN.
- 6.** Tenir una visió genèrica del paper que tindrà la xarxa 5G en la provisió de serveis multimèdia.
- 7.** Comprendre la importància de les SDN i la virtualització de xarxes, en les quals s'aprofundirà en els mòduls següents.

1. Evolució de les aplicacions i usos de les xarxes

En els últims vint-i-cinc anys les necessitats i funcionalitats de les xarxes han canviat àmpliament. Fins a l'última dècada del segle XX, les telecomunicacions es caracteritzaven per tenir un mercat estable, basat fonamentalment en el servei telefònic. Es tractava d'un sector monopolístic que generava grans economies d'escala.

A partir dels anys noranta el mercat es veu alterat per processos de desregularització, l'aparició i consolidació de noves tecnologies, el desenvolupament d'Internet, l'explosió dels serveis mòbils i la necessitat de disposar d'un ample de banda més gran.

I és en la irrupció d'Internet i sobretot a un cost reduït quan es produeix un punt d'inflexió, ja que s'obre de bat a bat tot el potencial que l'usuari posseeix a l'hora d'utilitzar la xarxa. Si abans era l'usuari qui s'havia d'adaptar als serveis que l'operador ofería (un servei per xarxa), ara és el mateix usuari qui té el poder de donar valor a un servei. És a dir, l'autèntic valor que té una xarxa de telecomunicacions no radica tant en la qualitat de la infraestructura sinó en els continguts. És la informació que l'usuari vol consultar o intercanviar el que dona sentit a l'existència d'aquesta xarxa.

Com podreu veure a continuació en aquest mateix capítol, això influirà totalment en les estratègies d'inversió de les operadores, que aniran a remolc del que el mercat reclama constantment: més velocitat i ubiqüitat en l'accés per a poder seguir creant nous serveis.

En aquest apartat farem un repàs a la situació actual de la provisió de serveis multimèdia, veurem quina ha estat l'evolució dels serveis de la xarxa en els últims anys i quina ha estat l'evolució social vinculada a aquests canvis.

1.1. Una mica d'història: d'on provenen les xarxes NGN?

Per comprendre què és el que ha ocorregut en el passat per arribar al concepte de *xarxes NGN*, ens hem de remuntar a principis dels anys noranta del segle passat. En aquella època, ens trobàvem el panorama següent:

- Servei de veu (línia fixa) per a particulars i empreses basat en XTC (Xarxa Telefònica Commutada) o XDSI (Xarxa Digital de Serveis Integrats).
- Facturació per temps d'ús.
- Un únic operador de telefonia o molt pocs al mercat (per exemple, Telefònica a Espanya).
- Generació de grans economies d'escala.

Les operadores de telecomunicacions de llavors havien fet una inversió ingent per desplegar un cable parell de coure a pràcticament totes les llars per oferir aquest servei de veu. L'arquitectura de la xarxa es caracteritzava per tenir uns terminals d'usuari molt simples (telèfons fixos) i concentrar tota la intel·ligència del servei a la mateixa xarxa troncal (encaminament de trucades).

Si anem a l'entorn corporatiu, hi havia altres serveis que reutilitzaven la línia telefònica, com els faxes o les línies digitals X.25. Els operadors de telefonia ja oferien llavors altres tecnologies per a la interconnexió de xarxes corporatives LAN i que proporcionaven més ample de banda, com, per exemple, Frame Relay.

1.1.1. Mitjan 1990-2000: els inicis d'Internet i la telefonia mòbil

Internet va néixer inicialment com un projecte acadèmic i de recerca militar nord-americana, una xarxa amb la finalitat d'unir un grup d'ordinadors per a intercanviar informació textual, amb una política *best-effort*. La xarxa es caracteritzava per la seva simplicitat, i la seva infraestructura es limitava a donar un servei de transport d'informació, la intel·ligència del qual residia en els terminals extrems, en els mateixos ordinadors dels usuaris.

El 1995 es van eliminar totes les restriccions perquè Internet pogués portar tràfic comercial. Això es considera un abans i un després en la història, ja que va significar una autèntica revolució al món de les telecomunicacions. Una nova gamma de serveis (començant pel WWW i seguint amb el correu electrònic) van entrar en joc. S'havia inventat una nova forma de comunicar-se.

L'èxit i l'evolució d'Internet es deuen tant a aspectes tecnològics com socials.

Així mateix, l'augment de la potència de càlcul dels processadors, tant corporatius com personals, va permetre posar a l'abast dels usuaris potents eines d'anàlisi i visualització de la informació. Aquest impuls tecnològic va iniciar l'era dels "mèdia". Es van començar a crear continguts audiovisuals, amb informacions de veu, imatges fixes i dades. La necessitat d'indexar i localitzar tot tipus d'informació va fer aparèixer cercadors de continguts audiovisuals que es van consolidar amb la *World Wide Web* a meitat dels anys noranta.

La web va permetre posar a l'abast dels usuaris grans volums d'informació audiovisual en les seves diferents formes i va impulsar que Internet es convertís en una xarxa comercial. Naixia un nou model econòmic, tot i que Internet

mantenia la seva estructura i els seus principis bàsics. En el nou model van entrar nous proveïdors de serveis, com ara activitats relacionades amb la salut, l'educació i la indústria, o noves formes de comunicació.

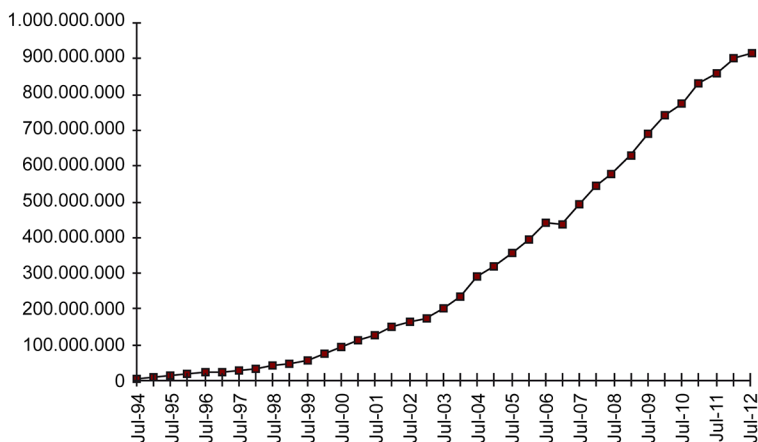
Els usuaris van començar a connectar-se a Internet usant els tradicionals mòdems V.90 a 56 Kbps sobre la XTB (Xarxa Telefònica Bàsica), i mòdems a 64 o 128 Kbps sobre la XDSI (Xarxa Digital de Serveis Integrats), la facturació dels quals anava per temps, com les trucades de veu. Però aviat aquesta capacitat va quedar petita, ja que els nous serveis que entraven requerien cada vegada més velocitat en la connectivitat.

Ja des de mitjan anys noranta, els operadors de línies fixes van començar a experimentar un declivi en termes de beneficis en la telefonia tradicional, com a resultat de la liberalització de les telecomunicacions, cosa que va donar lloc a una dura competència. Per a les operadores, la telefonia fixa deixava de ser a poc a poc un negoci rendible. Per descomptat, la increïble penetració dels serveis de telefonia mòbil a tot el món (analògica primer i després digital amb GSM) i la inevitable reducció en les tarifes de trucades mòbils van repercutir encara més en la baixada dels beneficis en les línies fixes de telefonia.

1.1.2. Finals de 1990-2000: *boom* mundial d'ús d'Internet i els serveis associats

Però Internet ja havia arribat per quedar-se i a la fi dels noranta la necessitat futura dels operadors de telefonia tradicional es va tornar massa clara. La simplificació de les seves xarxes troncales (distribuïnt la intel·ligència més equitativament entre el terminal d'usuari i la xarxa) combinada amb la capacitat d'introduir nous i sofisticats serveis multimèdia a voluntat seria essencial, no solament per competitivitat sinó per simple supervivència.

Figura 1. Nombre d'usuaris d'Internet



Font: Internet Systems Consortium (www.isc.org)

A la fi dels noranta van solucionar el repte tecnològic del coll d'ampolla en l'accés a Internet amb una nova tecnologia que aprofitava el cable parell de coure ja instal·lat: l'ADSL. I amb ell es va introduir el concepte de tarifa plana 24 hores per a l'accés a Internet.

Tornant a l'àmbit corporatiu, les xarxes LAN interconnectades per enllaços d'alta capacitat (per exemple, cable o fibra òptica) havien substituït àmpliament les xarxes WAN X.25, i la tecnologia Ethernet es va convertir en la candidata principal per a ser l'estàndard de xarxa d'accés de dades per a banda ampla de línia fixa i sense fil (com Wi-Fi).

L'adopció dels estàndards d'Internet, com IP, que s'assenta sobre els diferents tipus de tecnologies de commutació de paquets, com Ethernet, ha proporcionat connectivitat transparent extrem a extrem a través de LAN, WAN privades i públiques, i Internet.

1.1.3. Principis de 2000-2010: migració a All-IP

L'ús d'Internet es va estendre per tot el món i el volum de tràfic mundial creixia exponencialment, cosa que obligava les operadores a fer grans inversions per ampliar la capacitat de les xarxes troncal i d'accés. Això repercutia també en un augment de costos de manteniment que posava en perill la rendibilitat de la xarxa.

La solució per a aconseguir la màxima efectivitat en costos es va basar en la mateixa tecnologia en la qual estava basada Internet: el protocol IP. Les operadores de telefonia fixa es van adonar que basar tots els serveis en IP repercutia en menors costos d'operació i manteniment de la xarxa troncal, ja que es reutilitzava una mateixa infraestructura per a tots els serveis. Amb això arriba el concepte de serveis Tot-IP, en anglès *All-IP*.

Seguint aquesta filosofia van sorgir nous serveis multimèdia per a la llar, com el *Triple Play*, que combinava VoIP + IPTV + Internet en un sol paquet de servei.

1.1.4. Mitjan 2000-2010: Internet al mòbil

En els primers anys del segle XXI, el protocol IP era protagonista de força serveis multimèdia oferts per operadores de telecomunicacions amb una qualitat garantida, fet que repercutia en un estalvi en costos i un decreixement gradual en les tarifes, que feia que cada vegada hi hagués més competència. No obstant això, l'usuari havia de desplaçar-se fins a un punt físic per a poder gaudir del servei que havia contractat (la seva llar o l'oficina, on hi havia el terminal amb accés a Internet).

Però tot això va canviar a mitjan primera dècada del segle XXI, amb l'aparició dels primers telèfons intel·ligents o *smartphones*. El telèfon mòbil deixava de donar un servei de veu i missatgeria portàtil i passava a convertir-se en el “punt d'accés” a serveis multimèdia.

Amb la introducció d'Internet als mòbils s'inicia una nova etapa, en la qual els proveïdors de serveis guanyen notorietat, oferint serveis de difusió massiva de continguts multimèdia en temps real, banca electrònica, comerç electrònic, xarxes privades virtuals, etc. Els requisits de qualitat de servei i fiabilitat augmenten i porten els principals operadors a invertir en telecomunicacions per a poder oferir un salt qualitatiu en el servei.

En el terreny de la xarxa, alguns operadors europeus i americans comencen a introduir a les seves xarxes de telefonia una primera evolució a tot-IP de la seva xarxa troncal de la mà d'un element anomenat *softswitch*. Aquest element substituïa les centrals de commutació de circuits per un sistema basat en commutació de paquets (usant el protocol SIP per a l'establiment i l'encaminament de trucades de veu). Mentrestant, utilitzant passarel·les de veu sobre IP a telefonia analògica en l'última milla, el terminal telefònic clàssic seguia utilitzant-se a les cases dels clients amb els mateixos serveis que oferia amb la infraestructura antiga.

A més, a causa de l'increment potencial en el nombre de terminals amb connectivitat a Internet, es fa evident la necessitat d'anar adoptant a poc a poc un nou protocol IP (IPv6), que permet expandir les capacitats de direccionament i encaminament del protocol, simplificar el format de la capçalera, millorar el suport per a incorporar noves opcions al protocol i introduir capacitats de qualitat de servei, així com per a l'autenticació i la privadesa, l'autoconfiguració i el *multihoming* (un usuari/entitat pot tenir múltiples adreces IPv6).

1.1.5. Finals de 2000-2010: boom dels smartphones

La tecnologia 3G d'UMTS (desenvolupada per l'organització 3GPP) i les seves posteriors evolucions van demostrar que apropar Internet a la pròpia mà de l'usuari era apropar també altres serveis basats en IP.

Ara l'usuari tenia els serveis al seu abast tot el dia, independentment del lloc on es trobés dins de la zona de cobertura mòbil. Això va significar un autèntic *boom* a tot el món, amb la creació de mercats que fins llavors no existien, com les aplicacions mòbils.

Tecnologia mòbil 3G (UMTS) i sistema GSM

Amb la tecnologia mòbil 3G (UMTS) es va aconseguir una connexió de banda ampla mòbil. No obstant això, les trucades de veu seguien usant el sistema basat en GSM, amb la qual cosa calia mantenir dues infraestructures: una per a veu i SMS, i una altra per a dades.

Paral·lelament als factors tecnològics, hi ha un altre motor de canvi d'Internet impulsat pel creixement exponencial del nombre d'usuaris i pels nous usos que aquests usuaris fan de la xarxa, com la comunicació, el treball o l'oci i les relacions econòmiques que se'n deriven: creada originalment per interconnectar ordinadors, **l'usuari passa a ser l'element central** per al disseny de nous serveis i aplicacions.

D'aquestes van sorgir les anomenades aplicacions OTT, que aprofitaven l'excés de capacitat en l'accés a Internet mòbil per a oferir serveis multimèdia.

Entre les aplicacions OTT, *Over-The-Top* en anglès, especialment van triomfar la missatgeria instantània en grup (WhatsApp), les trucades gratuïtes de VoIP (Skype) entre dispositius mòbils i les xarxes socials com Facebook i Twitter.

1.1.6. Principis de 2010-2020: IMS i les NGN es converteixen en realitat

De nou, es repetia la situació dels anys noranta, en la qual l'increment de velocitat a la xarxa d'accés mòbil havia de respondre a la demanda futura, però aconseguint màxima eficiència en costos de manteniment. I aquí entra en joc la 4G, o el que és el mateix, la tecnologia LTE, la qual està basada exclusivament en paquets (a diferència de la 3G, no s'usa la infraestructura GSM per a les trucades de veu). El concepte de Tot-IP s'aplica de nou per a tots els serveis des del mateix terminal mòbil a la xarxa troncal.

Quant a la telefonia mòbil, es va desbordar el mercat de les aplicacions OTT (WhatsApp, Line, Twitter, etc.) i, a causa d'això, l'ús dels serveis de SMS i les trucades de veu van caure dràsticament, fet que va afectar els beneficis de les operadores de telefonia mòbil, que s'estaven convertint en mers proveïdors de connectivitat sense fil a Internet, mentre les empreses desenvolupadores d'aplicacions se'n beneficiaven.

L'entitat 3GPP, que també especifica la telefonia 4G, va definir a principis del segle XXI el sistema IMS¹, que pot ser considerat com el primer pas de l'evolució cap a les xarxes NGN, ja que el seu objectiu era substituir tota la xarxa de commutació de circuits per un sistema basat en IP i obert a qualsevol servei multimèdia actual (veu) o futur sense necessitat d'actualitzar tota la xarxa.

⁽¹⁾IMS respon a les sigles *IP Multimedia Subsystem*.

De fet, nombrosos operadors de xarxes de telefonia fixa van aprofitar la irrupció d'IMS per planificar la migració gradual (actualitzant en ocasions el programari dels *softswitches* que ja poguessin tenir) de tota la seva infraestructura

de xarxa troncal i serveis de veu a aquesta tecnologia amb l'objectiu d'estalviar costos de manteniment (un nucli IMS serviria per a encaminar trucades tant de la xarxa mòbil com de la xarxa fixa).

La GSMA, l'associació que aglutina les principals operadores de telefonia mòbil, així com els fabricants de terminals i fabricants d'equips per a la xarxa troncal, van acordar en el Mobile World Congress del 2010 basar el futur servei de veu de LTE i missatgeria en la tecnologia IMS. Ho van anomenar VoLTE (*Voice over LTE*) i posteriorment ho van ampliar amb l'RCS (*Rich Communication Suite*), que afegia més serveis multimèdia als dos anteriors. Inclouen la compartició de vídeo i imatge, servei de presència, missatgeria instantània i MMS. Ho van batejar amb el nom Joyn i, tot i que va pretendre declarar la guerra directa a les OTT per recuperar el mercat perdut, no va tenir gaire èxit comercialment parlant.

Malgrat que Joyn no va tenir l'èxit esperat, VoLTE sí que s'ha fet un lloc especialment en països asiàtics, per tal de diferenciar-se dels serveis de trucades de veu sobre IP gratuïtes i *best effort* ofertes per aplicacions OTT de missatgeria instantània.

1.1.7. Mitjan 2010-2020: fibra òptica, 4G i els inicis de xarxes IoT

Si bé la tecnologia basada en la fibra òptica ja s'usava en molts altres àmbits per a la transmissió de grans quantitats de dades, no va ser fins a mitjan segona dècada que es va establir com l'estàndard *de facto* per a les operadores que proporcionen servei d'Internet comercial als usuaris, desplaçant les tecnologies basades en DSL sobre cable parell de coure que havien dominat el mercat durant les últimes dues dècades. Gràcies a la fibra òptica, les velocitats de transferència de dades han fet un salt qualitatiu, i permeten als proveïdors oferir serveis de *streaming* (reproducció en continu) d'alta qualitat a resolucions fins a 4K, una de les aplicacions que més ample de banda requereix. Els temps de latència també s'han vist reduïts dràsticament, amb la millora consegüent dels serveis en temps real.

No obstant això, aquesta tecnologia solament és accessible de moment en els nuclis urbans més importants, la qual cosa relega la resta de poblacions a l'accés mitjançant tecnologia DSL. És en aquest context on proveïdors com Netflix, HBO o les ofertes pròpies dels operadors tradicionals (com Movistar+) han pogut irrompre amb més força a les llars.

VoLTE i la veu en HD

VoLTE es presenta per les operadores com el servei de trucades de veu en HD o alta definició, gràcies a la garantia de QoS de la xarxa LTE i al codificador de veu que s'empra.

La tecnologia de fibra òptica es basa en l'ús de fibres de vidre o plàstic pel qual es propaga la llum gràcies a les reflexions internes que permeten que aquesta actui com a guia d'ona, amb la qual cosa s'aconsegueixen velocitats de transmissió de dades de l'ordre dels Gbps. A més, a diferència de les tecnologies basades en cables metàl·lics, com el cable parell de coure, és immune a les interferències electromagnètiques.

Pel que fa a les tecnologies mòbils, la presència de la 4G i les seves diferents versions millorades s'ha estès pràcticament a tots els nuclis importants, i s'ha combinat amb la 3G en aquelles zones on encara no s'ha implantat. Les últimes versions d'LTE permeten gaudir de velocitats de connexió similars a les de la fibra òptica en certs punts, encara que a diferència d'aquesta última, la gran majoria d'operadors mòbils segueixen establint algun límit en l'ús de dades mòbils per evitar la congestió de les seves xarxes.

Quant a IMS, encara que diverses operadores de telefonia mòbil es van decidir a oferir VoLTE comercialment i fins i tot incloure la xarxa Wifi per poder accedir a serveis IMS (com el servei *Wifi calling*, també anomenat VoWifi), força operadores, sobretot europees, encara mantenen reticències quant a la implantació definitiva de VoLTE a les seves xarxes. L'argumentació és que, en una primera instància, aquesta inversió necessària per a convertir la seva xarxa d'LTE en LTE Advance (compatible amb IMS i els seus serveis multimèdia) no valia tant la pena, ja que seguirien oferint els mateixos serveis multimèdia que havien ofert fins llavors. A més, les plataformes que es comercialitzaven d'IMS eren relativament cares a causa del maquinari dedicat que incloïen, cosa que les feia poc escalables.

La solució que es troba per abaratir el cost de desplegament d'aquestes noves xarxes basades en IMS ve de la mà de les tècniques de virtualització com SDN o NFV², que estan en plena expansió i que permeten usar maquinari de propòsit general (molt més barat).

⁽²⁾SDN respon a les sigles de *Software Defined Networks* i NFV a *Network Function Virtualization*, tecnologies que s'estudiaran en mòduls posteriors.

D'altra banda, el concepte de *ciutat intel·ligent* adquireix molta força, ja que, a les grans ciutats, cada vegada més poblades, la tendència és crear entorns sostenibles, eficients i agradables en els quals es valora cada vegada més la qualitat dels serveis que s'hi ofereixen.

Entorn de les ciutats intel·ligents es creen multitud de solucions i aplicacions basades en IoT i en la tecnologia M2M. En aquesta època sorgeixen fins i tot operadores de xarxes d'accés sense fils exclusivament dedicades a proporcionar connectivitat a aquest tipus de dispositius, com per exemple Sigfox.

1.1.8. Finals de 2010-2020: 5G i la convergència entre tecnologies

La 5G és el terme utilitzat per a referir-se a les últimes tecnologies mòbils. Es va definir inicialment amb l'estàndard ITU IMT-2020, amb velocitats teòriques de baixada de fins a 20 Gbps. Recentment, el 3GPP també defineix aquest terme per a aquells sistemes que adoptin sistemes *New Radio*, que donen lloc al 5G NR.

La 5G fa ús de les mateixes bandes de freqüència que la 4G/LTE (entre 600 MHz i 6 GHz), a més d'altres de més alta freqüència (per sobre dels 6 GHz), on s'aconsegueixen les velocitats més altes.

D'altra banda, si amb la 4G ja es van dur a terme els primers esforços per a la convergència amb tecnologies de xarxes d'accés local –com Wi-Fi– per poder fer front a les limitacions de cobertura, amb la 5G aquesta convergència s'accelera (per a escenaris amb trànsit dens o situacions *indoor*, per exemple), amb la idea de poder utilitzar simultàniament múltiples tecnologies d'accés a la xarxa.

1.2. El camí cap a la convergència

El camí cap a la convergència neix amb la digitalització creixent de continguts, el canvi cap a xarxes basades en IP, la difusió de l'accés de banda ampla de gran velocitat i la disponibilitat de comunicacions multimèdia i dispositius de computació. La convergència té lloc a diferents nivells:

- **Convergència de xarxes**, conduïda pel canvi cap a xarxes de banda ampla basades en IP i a l'alt grau de flexibilització d'ús de la infraestructura basant-se en tecnologies de virtualització que afecten tant els elements de la xarxa d'accés com la troncal.
- **Convergència en els terminals**, basada en el fet que la majoria dels aparells actuals inclouen un microprocessador, una pantalla, emmagatzematge, un dispositiu d'entrada i una connexió de xarxa. Els usuaris volen usar el mateix dispositiu (telèfon mòbil, TV, ordinador, telèfon fix) per a veu, dades, vídeo (tant en temps real com en *streaming*) i jocs recreatius.
- **Convergència de serveis**, derivada de la convergència de xarxes i terminals innovadors, que permet l'accés a aplicacions web i a nous serveis de valor afegit a través de diferents dispositius.
- **Convergència de mercat**, que porta en el mateix camp diverses indústries que fins al moment tenien mercats separats, com la de les tecnologies de la informació, les telecomunicacions i el multimèdia.

- **Convergència (o cooperació) legislativa i institucional** entre les regulacions de telecomunicacions i de xarxes de difusió.
- **Convergència en l'experiència d'usuari**, basada en el fet que la interfície entre els usuaris finals i les tecnologies de xarxa ha de ser única.

El procés de convergència també facilita l'obertura del mercat de les telecomunicacions a nous operadors. Els grans operadors de telecomunicacions exerceixen un paper fonamental en el procés de convergència, però els nous actors tenen l'oportunitat d'adoptar diferents models de mercat.

1.2.1. Què aporten les xarxes de nova generació als diferents actors en el món de les telecomunicacions?

Les xarxes de nova generació tenen un paper fonamental per a fer convergir dispositius, usuaris, operadors i desenvolupadors d'aplicacions. Tant les xarxes com la gestió dels serveis han d'adoptar una visió "extrem a extrem" en el disseny, la implementació i les operacions. D'aquesta manera es poden proporcionar avantatges a tots els actors.

Des del punt de vista dels **usuaris**, aquests es beneficien de preus més baixos. Poden triar entre múltiples proveïdors de serveis per a obtenir un avantatge màxim de les ofertes competitives o obtenir una sola factura per tots els serveis de veu, dades, vídeo i mòbil. La factura de l'usuari s'ajusta als serveis de què ha gaudit i compta amb una àmplia oferta de productes i serveis. A més, la NGN facilita la interacció amb l'usuari, atès que pot presentar els mateixos serveis personalitzats sigui quina sigui la xarxa que utilitzi o la tecnologia del terminal emprat. Així, els usuaris poden utilitzar el mateix dispositiu (mòbil, TV, ordinador, telèfon fix) per a veu, dades, vídeo i jocs, i obtenir serveis sota demanda.

Des del punt de vista dels **desenvolupadors d'aplicacions**, la NGN ofereix recursos i interfícies (API) amb les quals es poden desenvolupar aplicacions. Aquestes API seran clau per a la integració de serveis i per a la virtualització de xarxes, com veurem en els mòduls següents.

Finalment, des del punt de vista dels **operadors**, el fet de tenir una sola plataforma multiserveis els permet reduir els costos de desplegament de la xarxa i d'operació, alhora que poden oferir un gran rang de serveis avançats i proporcionar un entorn que possibilita el desenvolupament de nous serveis. S'incrementa, així, la rendibilitat de la xarxa i es redueix al màxim el temps de recuperació de les inversions, atès que es factura als usuaris per múltiples serveis, encara que estiguin utilitzant la mateixa infraestructura, la mateixa xarxa. A més, el fet que la xarxa estigui basada en paquets permet un estalvi de potència i menys requisits d'espai.

2. Context actual de les aplicacions i usos de les xarxes

2.1. Sistemes distribuïts

L'evolució tecnològica ha afavorit el desenvolupament de sistemes distribuïts i actualment aquesta és una de les topologies més comunes dels serveis d'Internet. Els sistemes distribuïts són sistemes que contenen múltiples processadors connectats en una xarxa de comunicacions. Estan dissenyats perquè molts usuaris treballin de manera conjunta.

En aquest apartat presentem dos dels sistemes distribuïts que més popularitat i acceptació tenen entre el sector empresarial i els usuaris domèstics.

2.1.1. Computació en el núvol (*cloud computing*)

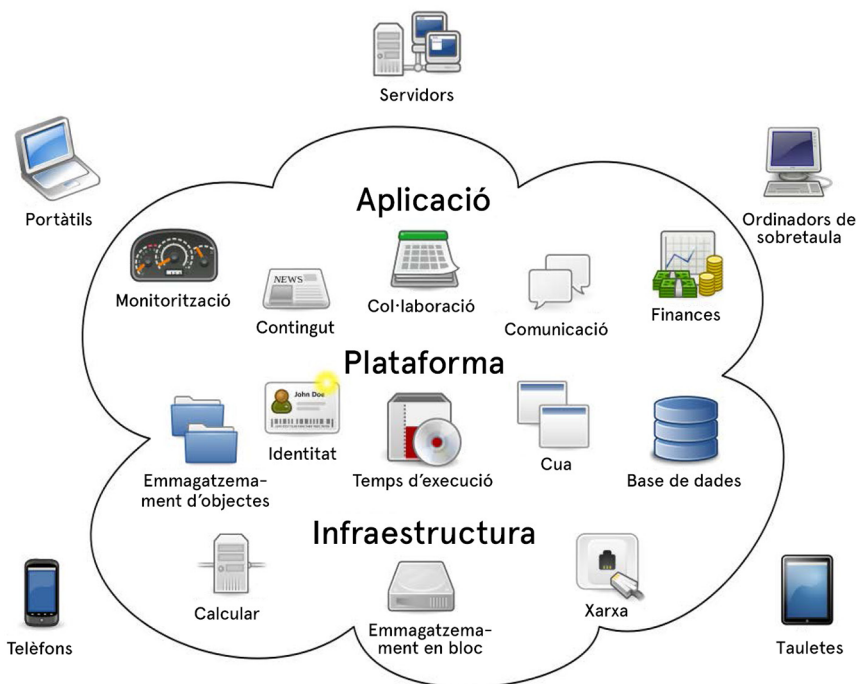
La computació en el núvol es pot definir com una tecnologia que permet oferir serveis de computació a través d'Internet. La idea és alliberar l'ordinador personal dels usuaris de la càrrega que suposa tenir-hi un programa instal·lat i oferir a l'usuari els recursos necessaris perquè pugui fer les seves tasques sota demanda mitjançant servidors en línia. Els beneficis que aporta són els següents:

- **Eficiència:** permet reduir el cost de propietat de maquinari i programari i el seu manteniment. L'usuari paga els serveis del núvol pel que usa (programari, emmagatzematge, accés a bases de dades, etc.), però no ha d'adquirir un producte per al seu ús il·limitat. D'altra banda, es millora la utilització i l'eficiència dels equips.
- **Potència** de computació elevada.
- **Flexibilitat:** independència de la localització; un usuari pot utilitzar un servei sigui on sigui.
- **Escalabilitat:** capacitat per a lliurar aplicacions i serveis, i estendre automàticament la infraestructura segons les necessitats sol·licitades per l'usuari.
- **Abstracció:** capacitat per a oferir una interfície senzilla a l'usuari, que no ha de preocupar-se pels detalls de la infraestructura o el sistema operatiu que hi ha per sota a l'hora d'usar un servei.

En funció de com es presta el servei de computació en el núvol, podem distingir entre tres modalitats:

- Programari com a Servei (**SaaS**, *Software as a Service*). En aquest model, les aplicacions de programari estan allotjades en un servidor per un proveïdor de serveis, que els posa a disposició dels seus usuaris a través d'una xarxa (com Internet).
- Plataforma com a Servei (**PaaS**, *Platform as a Service*). En aquest cas, es proveeix els usuaris d'una plataforma completa com un sistema operatiu i els seus serveis associats a través de la xarxa, sense necessitat d'instal·lació.
- Infraestructura com a Servei (**IaaS**). Es tracta d'un model que posa a disposició dels usuaris una infraestructura formada per servidors, sistemes d'emmagatzematge, components de xarxa i altres dispositius de maquinari. D'aquí sorgeix el concepte de *network slicing*, en el qual una xarxa física pot ser virtualitzada en diverses xarxes de capacitat més reduïda però ajustada a la demanda del client.

Figura 2. Cloud Computing



Font: Creative Commons

Proveïdors com AWS (Amazon Web Services) o Microsoft Azure ofereixen solucions tant per a IaaS com per a PaaS. Serveis com Google Apps o Dropbox són exemples de SaaS.

La computació en el núvol pot treballar en quatre modalitats, segons com operi:

- 1) **Núvol privat:** la infraestructura del núvol solament opera per a una organització. La gestió del núvol la fa la mateixa organització o una tercera part.
- 2) **Núvol comunitari:** la infraestructura és compartida per diverses organitzacions i suporta una comunitat específica que té interessos compartits (per exemple, la política i les consideracions de compliment, els requisits de seguretat, etc.).
- 3) **Núvol públic:** la infraestructura està a disposició del públic general o d'un grup industrial, i és propietat d'una organització que ven els serveis de computació en el núvol.
- 4) **Núvol híbrid:** la infraestructura del núvol és una composició de dos núvols o més que permeten la portabilitat de dades i aplicacions d'un núvol a d'altres mitjançant tecnologies específiques.

El principi bàsic de la computació en el núvol és distribuir les tasques computacionals en diversos ordinadors distribuïts, no en computadores locals o en servidors remots.

D'altra banda, els principals inconvenients que poden identificar-se amb la computació en el núvol estan relacionats amb la protecció de la seguretat i la privadesa de dades i programes, la fiabilitat del servei i la limitació dels serveis a tenir una connexió a Internet amb una certa qualitat de servei.

2.1.2. Computació *grid*

La computació en el núvol de vegades es confon amb la computació *grid*, però no és exactament el mateix. El concepte *grid* va néixer a principis dels anys noranta com a proposta per al desenvolupament d'infraestructures computacionals avançades per al suport de la ciència i l'enginyeria. La computació *grid* vincula processadors dispars per a crear una única gran infraestructura agregant la potència de procés de totes les computadores. Els sistemes *grid* proporcionen grans capacitats de còmput. D'altra banda, la computació en el núvol se centra a oferir recursos sota demanda a través de la web. El seu focus està més en la disponibilitat que en una alta potència de càlcul, cosa que permet utilitzar més recursos si es produeix un pic de demanda i apagar recursos si no s'estan utilitzant. La computació *grid* pot estar en el núvol o no estar-hi, depenent del tipus d'usuaris que la utilitzen.

Per a poder executar una aplicació en *grid*, aquesta ha de poder ser dividida en subtasques independents que puguin ser executades en paral·lel sense que hi hagi comunicació entre si (o si aquesta és molt escassa).

Hi ha diversos tipus d'aplicacions que es poden beneficiar de *grid*: aplicacions d'alt rendiment que necessiten avaluar moltes dades, aplicacions intensives des del punt de vista computacional o aplicacions de computació

col·laborativa. Aquestes últimes formen part dels sistemes de computació voluntària, uns sistemes en els quals els recursos provenen de diverses fonts independents entre si, i és habitual que procedeixin d'usuaris particulars que aporten recursos dels seus ordinadors personals quan no els utilitzen.

Aquests sistemes són un exemple del nou paper que els usuaris estan adquirint en les xarxes del futur, de manera que estan passant de ser mers espectadors a ser els actors principals de les accions que s'hi duen a terme.

Un exemple de sistema *grid* de computació voluntària és el projecte BOINC. Es tracta d'una plataforma oberta creada per la Universitat de Berkeley, en la qual els investigadors poden incorporar els seus projectes, i demanar a les persones voluntàries que col·laborin en la recerca deixant els recursos no utilitzats dels seus ordinadors personals per fer determinades tasques. La plataforma prescindeix de la gestió de la QoS, assumint que el nombre de recursos del sistema és virtualment il·limitat i que, per tant, es poden executar diverses rèpliques d'una mateixa tasca en diversos nodes. D'aquesta manera, es garanteix que un d'ells acabarà la feina en el temps i la forma estipulada. Un dels seus projectes més reeixits de BOINC és el Seti@home, que tenia la finalitat d'investigar els fenòmens de l'espai interestel·lar.

2.2. Xarxes socials i comerç electrònic

2.2.1. Xarxes socials

Internet ha evolucionat creant nous productes, serveis i fins i tot nous models de comunicació i de relació entre les persones que ja formen part de la mateixa xarxa convertida en xarxa social.

Una xarxa social es pot definir com un servei que permet als individus construir un perfil públic o semipúblic dins d'un sistema delimitat, articular una llista d'altres usuaris amb els quals comparteixen una connexió, i veure i recórrer la seva llista per conèixer les accions que han realitzat en el sistema els usuaris amb els quals estan connectats. Les xarxes socials es poden representar en forma d'un graf o diversos en els quals els nodes representen els individus i les arestes representen les relacions entre si. Les relacions poden ser de diferent tipus, intercanvis financers, amiat, col·laboració professional, etc. Les xarxes socials propicien la interacció de milers de persones en temps real.

El remarcable creixement de les xarxes socials a tot el món és un dels indicadors més clars que les tecnologies digitals estan canviant radicalment el marc de comunicació i les relacions entre les persones. Molts usuaris actius passen hores a Internet treballant i socialitzant a través de les xarxes socials.

Les xarxes socials estan canviant la manera com la gent es manté en contacte i amb qui manté el contacte. S'utilitzen tant per a mantenir converses amb amics als quals es veu cada dia cara a cara, com per a les comunicacions amb coneguts o familiars amb qui no es coincideix regularment.

Les xarxes socials poden actuar com un amplificador de les interaccions del dia a dia, incrementant l'espai per a discutir esdeveniments i activitats, al mateix temps que simplifiquen els mitjans de comunicació. Les actualitzacions de l'estat d'una persona a través de missatges curts permeten una comunicació àgil i simple.

2.2.2. Comerç electrònic

L'auge del comerç electrònic (*e-commerce*) ha estat una altra de les conseqüències dels avanços a Internet, lligats als mitjans de pagament electrònic.

Al principi, molts usuaris estaven poc inclinats a comprar béns a través de la xarxa, a causa principalment de la percepció d'inseguretat que imperava. Els bancs i altres organismes financers van fer grans progressos per canviar aquesta concepció, facilitant les transaccions en línia i proporcionant tot tipus de mecanismes de protecció per a l'usuari final.

Algunes empreses van començar a vendre els seus productes en línia de la mateixa manera que ho feien físicament a les seves botigues, però la gran revolució del comerç electrònic va arribar de la mà de les noves botigues en línia, que solament proporcionaven els seus serveis en línia. El cas de més èxit és segurament **Amazon**, fundada el 1994 per Jezz Bezos (actualment un dels empresaris més rics del món), va començar venent llibres en línia i avui dia disposa de centenars de milers de referències de diferents productes.

2.3. Serveis multimèdia amb alt grau d'interactivitat

Els serveis multimèdia interactius són aquells que estableixen algun tipus d'interacció entre l'usuari i els continguts oferts per aquests serveis. Aquests continguts s'adapten, doncs, en funció de les accions que realitza l'usuari. Els sistemes amb alt grau d'interactivitat són aquells en els quals s'intercanvia informació constantment, la qual cosa comporta un conjunt d'exigències per a la xarxa que ofereix aquests serveis.

Les trucades de veu són un dels serveis interactius més tradicionals, s'hi estableix una comunicació simultània bidireccional d'àudio. En el cas de les videotrucades o **videoconferències**, s'hi afegeix el component d'imatge (vídeo), que dona lloc a un servei multimèdia amb alt grau d'interactivitat. En aquest tipus de trucades és possible transmetre també, depenent de l'aplicació, un altre tipus de dades, com ara fitxers o imatges que serveixen per a enriquir les comunicacions entre els usuaris.

La indústria dels **videojocs** en línia és una de les més lucratives actualment. El que va començar com a simples jocs amb pocs colors i rudimentàries regles s'ha transformat avui en una fructífera indústria els ingressos de la qual superen fins i tot els del setè art. Alguns dels últims videojocs compten amb pressupostos superiors als de grans produccions cinematogràfiques i el seu realisme

espren al màxim les exigències quant a equips electrònics. Ja siguin consoles dedicades o ordinadors (o fins i tot *smartphones*), l'aspecte gràfic és una de les qüestions que més potència requereix, i no és d'estranyar que les targetes gràfiques i GPU siguin avui els components més potents i cars de molts dispositius.

En l'àmbit de xarxa, la proliferació de les plataformes de joc entre múltiples jugadors (primer mitjançant xarxes locals i més tard en línia amb qualsevol usuari de la web) ha impulsat la necessitat d'establir un sistema de connexió amb latències extremadament baixes.

2.4. Accés a continguts multimèdia

Molts dels continguts audiovisuals (com ara cinema o televisió) que fins fa poc solament estaven disponibles a través dels canals de radiodifusió (*broadcasting*) tradicionals, s'ofereixen ara com a serveis multimèdia a través d'Internet, gràcies a l'augment de la velocitat de transferència de les xarxes. De fet, la proliferació dels continguts en alta definició ha suposat un repte per a les operadores des del punt de vista tècnic, per tal d'adequar les seves xarxes d'accés al mitjà amb tecnologies capaces de brindar les prestacions necessàries a aquests continguts.

Les millores en les tecnologies de tipus ADSL, però sobretot la implantació de la fibra òptica, han permès disposar de continguts audiovisuals que abans solament estaven disponibles mitjançant els canals de televisió convencionals. Serveis com Netflix, HBO, Wuaki TV (Rakuten) o Prime Video (Amazon) són alguns dels casos d'èxit més coneguts, als quals es pot accedir a través d'aquestes connexions de banda ampla. Fins i tot les tecnologies mòbils 4G/LTE permeten gaudir d'aquests continguts, encara que en aquest cas limitats pel consum de dades.

Així mateix, per poder satisfer l'alta demanda de contingut multimèdia, ha estat necessària la implantació de les conegudes com a xarxes de **distribució de continguts** o CDN (*Content Delivery Network*), xarxes formades per servidors que repliquen el contingut en diferents ubicacions amb l'objectiu de maximitzar l'ample de banda per a l'accés de les dades per part dels usuaris. En moure el contingut més a prop d'aquests últims, s'aconsegueix reduir el temps de resposta i millorar la qualitat del servei.

D'altra banda, els operadors han sabut explotar l'auge d'aquests continguts multimèdia per oferir continguts propis per *streaming*, però també forjar aliances amb les esmentades empreses de serveis per poder oferir aquests continguts a través de la televisió, que encara avui dia segueix sent el principal dispositiu de consum audiovisual.

2.5. Internet de les coses (IoT)

El concepte d'Internet de les coses (*Internet of things*, IoT) neix l'any 2005, quan la ITU publica el primer estudi sobre el tema. Fins llavors es parlava que les tecnologies de la informació i de les comunicacions es basaven en les 3A –*any-time, any place and for anyone*–, i la ITU afegeix una quarta: proporcionar connectivitat per a *anything*. La idea bàsica és que qualsevol objecte físic que tinguem pugui esdevenir un terminal connectat a Internet. Per ser més precisos, les coses no resulten ser computadores, però es poden comportar com a petites computadores, i quan ho fan les denominem **objectes intel·ligents**.

Internet de les coses és possible gràcies a l'abaratiment dels processadors i de les memòries, a la reducció de les dimensions dels sensors i actuadors, i evidentment, a les millores en les capacitats de connexió a la xarxa. El canvi d'IPv4 a IPv6 ha estat decisiu per a poder impulsar la IoT, i la implantació de les xarxes de nova generació permetrà la implantació d'una connectivitat ubíqua real.

IPv6

L'IPv6 assegura que podríem assignar una adreça IPv6 a cada àtom de la superfície de la Terra i, així i tot, tenir suficients adreces per a assignar als àtoms d'altres cent Terres.

Hi ha tres components essencials d'Internet de les coses:

- 1) Necessitat de dispositius molt lleugers, barats i de molt baix consum elèctric, i uns altres de grans prestacions.
- 2) Connectivitat escalable: un dels reptes més importants és aconseguir connectivitat de baix cost no solament per adreçar el creixement exponencial de nodes de la xarxa, sinó també per adaptar-se als diferents requisits dels dispositius.
- 3) Gestió i serveis basats en computació en el núvol: la visió del futur ja no és la d'un dispositiu actuant sol, sinó la de molts dispositius treballant junts.

Quina és la diferència entre Internet i Internet de les coses?

Podem resumir les diferències més importants en els punts següents:

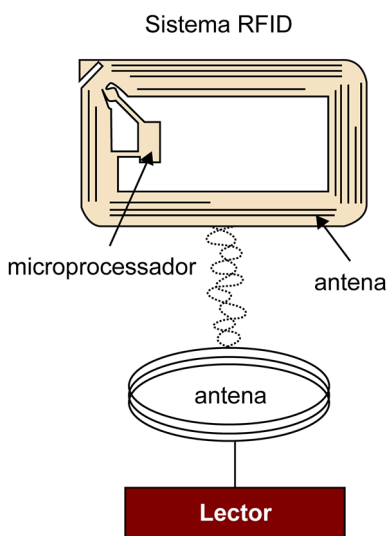
- El maquinari és gairebé invisible i té una fracció molt petita de les funcions que pot tenir el maquinari tradicional d'Internet (servidors, estacions de treball, portàtils o mòbils).
- Hi ha bilions de nodes connectats en comparació amb els mil milions que pot tenir Internet.
- Els volums de dades que envien/reben els dispositius és petit (encara que els poden rebre amb freqüència), a diferència del que succeeix a Internet, on les xarxes d'accés han hagut d'anar augmentant el seu ample de banda per poder portar banda ampla a les llars.

- Els sistemes estan centrats en el maquinari en lloc d'en l'usuari. La gran majoria dels serveis d'Internet estan destinats a usuaris humans (web, correu electrònic, compartició de fitxers, telefonia, etc.), mentre que els atributs de la IoT gairebé exclouen els humans de qualsevol intervenció directa.
- El focus està en la detecció i no en la comunicació. A Internet el que és important és poder establir un enllaç de comunicacions entre dues entitats per poder compartir dades. A IoT la importància radica en el fet que els objectes i els llocs generen dades automàticament, i que aquestes dades permetin detectar, alertar i modificar els paràmetres de l'entorn.

l'Internet de les coses abasta nombroses tecnologies i disciplines de recerca per a permetre que Internet arribi al món real dels objectes físics, com la identificació d'objectes, les comunicacions sense fils de curt abast (*Near Field Communications*, NFC), la geolocalització de nodes en temps real o l'obtenció de dades a través de xarxes de sensors. A l'Internet de les coses els objectes poden comunicar-se automàticament entre si i amb Internet. Un dels components principals de IoT és la tecnologia d'identificació per radiofreqüència (*Radio Frequency Identification*, RFID), que permet que les coses estiguin enllaçades amb la seva identitat virtual d'Internet.

Els *tags* RFID contenen un identificador únic d'objecte que es pot llegir de forma automàtica sense necessitat de tenir visió directa amb l'objecte. Els *tags* RFID passius no necessiten alimentació elèctrica i són els que tradicionalment s'han utilitzat per a identificar objectes. Actualment s'està treballant amb *tags* actius i semipassius que poden donar funcions addicionals i més autonomia als objectes.

Figura 3. Sistema RFID



RFID

Un sistema RFID consisteix en *tags*, lectors i antenes. Cada *tag* té un codi de producte electrònic (*Electronic Product Code*, EPC) que pot ser usat per a identificar un objecte de forma única. El lector s'utilitza per a llegir les dades guardades en els *tags* RFID o per a afegir nova informació. Per a la transmissió dels senyals de radiofreqüència entre el lector i el *tag* s'utilitzen antenes.

L'arquitectura d'un sistema IoT està formada per tres capes que contenen ítems d'informació, xarxes independents i aplicacions intel·ligents:

- La **capa de la informació** és capaç d'identificar elements i percebre informació de l'entorn físic. Els dispositius que formen part d'aquesta capa poden formar una xarxa entre si (per exemple, xarxa de sensors) o actuar de manera aïllada. En qualsevol cas, una vegada han recollit la informació, han de transmetre-la a una passarel·la de comunicacions a través de RFID.
- La **capa de xarxa** inclou diferents tipus de passarel·les cablejades o sense fils, xarxes d'accés i xarxes troncales, i principalment realitza la transmissió, l'encaminament i el control entre les capes d'informació i d'aplicacions. La capa de xarxa pot implementar-se mitjançant diferents xarxes de telecomunicacions i d'Internet, o a través de xarxes privades corporatives.
- La **capa d'aplicacions** és la que emmagatzema i processa la informació. A més, és la que executa el control del sistema. Aquí és on se situen les aplicacions basades en *Big Data* o processament massiu de dades.

L'objectiu principal del desplegament de IoT és poder monitoritzar i controlar objectes via Internet. Algunes iniciatives de IoT són:

- Ciutats intel·ligents (*smart cities*)
- Domòtica (cases intel·ligents)
- Conducció autònoma

A continuació, introduïrem el funcionament de les **comunicacions màquina-màquina** (M2M) que s'estableixen entre els diferents dispositius que componen aquests sistemes.

2.5.1. Comunicacions màquina-màquina (M2M)

Podem definir l'M2M com una comunicació entre dues entitats o més que no necessita necessàriament cap intervenció directa de l'home.

Les propietats de les aplicacions M2M són les següents:

- Gran nombre de dispositius. Les aplicacions típiques involucren molts terminals concentrats en una àrea (fet que provoca una gran densitat de dispositius), o just el contrari, molts dispositius distants i molt espaiats.
- Poca mobilitat.
- Els dispositius es poden ajuntar en grups, la qual cosa permet crear polítiques més eficients per al grup.
- Algunes de les aplicacions són tolerants als retards en les transmissions i permeten que els dispositius enviïn/rebin dades només en certs períodes de temps.

L'àmbit d'actuació de l'M2M és en escenaris on la informació emesa i rebuda de les màquines habiliten la seva integració en els processos empresarials. Per exemple:

- Sistemes de venda automàtica (*vending*). Permet gestionar i optimitzar la reposició dels productes segons el consum. També permet telecontrolar diversos ajustos de les màquines expenedores.
- Lectura de comptadors. Permet conèixer la demanda energètica en temps real i, segons aquesta demanda, dimensionar les necessitats de la distribució. Aquesta és una de les propietats que permet construir xarxes elèctriques intel·ligents (*smartgrids*).
- Medicina. Les dades dels pacients es poden enviar de manera regular i automàtica als serveis mèdics, cosa que evita que els malalts hagin de desplaçar-se a l'hospital. Segons l'anàlisi de les dades es poden generar alarmes i planificar cites per al seguiment de l'evolució del pacient.
- Automoció. Aplicacions que permeten la localització del vehicle i interactuar amb algunes de les seves funcions.
- Control d'accés. Alarmes per a vigilar domicilis i empreses. En aquest cas, el mateix canal de comunicacions que envia la informació és monitoritzat i tractat com un element clau en la seguretat.
- Sistemes de domòtica, per exemple, per a controlar l'eficiència energètica de la llar, engenant i apagant la calefacció quan convé.
- Gestió de flotes. Serveis per a conèixer i monitoritzar l'estat d'un vehicle i de la seva càrrega segons un conjunt de sensors que mesuren la pressió, temperatura, impactes, integritat, etc.

Smartgrid

Una *smartgrid* és una xarxa que integra de manera intel·ligent les accions dels usuaris que hi estan connectats –generadors, consumidors i els que són les dues coses alhora– amb l'objectiu d'aconseguir un subministrament elèctric eficient, segur i sostenible. Les *smartgrids* utilitzen tecnologies de comunicació, control, monitoratge i autodiagnosi.

L'M2M representa un futur en el qual milions d'objectes de la vida quotidiana i l'entorn que els envolta estan connectats i gestionats per una sèrie de dispositius a través de xarxes de comunicacions estandarditzades.

Seguidament, veurem alguns dels exemples més típics de sistemes IoT i comunicacions M2M, com són les **ciutats intel·ligents**, la **domòtica** o la **conducció autònoma**.

2.5.2. Ciutats intel·ligents

Les ciutats intel·ligents o *smarts cities* són ciutats dotades de solucions tecnològiques avançades que permeten millorar les necessitats dels ciutadans i facilitar-los la seva interacció amb els elements urbans. El concepte engloba una sèrie de serveis que dirigeixen la ciutat cap a un model de gestió de les in-

fraestructures urbanes automàtic i eficient. L'avantatge principal és que amb aquests solucions s'aconsegueix reduir les despeses i s'ofereix una millora en la diversitat i qualitat dels serveis.

Els serveis d'una ciutat intel·ligent són diversos, i sempre intenten oferir serveis compromesos amb l'entorn i pels quals hi ha una demanda manifesta. Alguns d'aquests serveis són:

- a) Millorar el trànsit mitjançant diferents accions:
 - Elaborar una anàlisi dels fluxos de trànsit donant prioritat al transport d'emergències i al transport públic.
 - Detectar de manera automàtica les infraccions del codi de circulació i dels perills a les carreteres, i informació dels accidents soferts per vehicles propers mitjançant els senyals adequats.
 - Desenvolupar models matemàtics i simulacions per poder comparar diferents vies de circulació i escenaris de transport per a predir efectes ambientals.
 - Implantar serveis d'informació en línia per a ciutadans i serveis de cerques a través de telèfons mòbils.
- b) Millorar la mobilitat urbana mitjançant serveis en línia en els quals els ciutadans poden trobar informació sobre els temps estimats d'arribada del transport públic, les connexions, els serveis per a compartir bicicletes, cotxes, la informació sobre llocs lliures on aparcar, etc.
- c) Implantar eines per la e-governança i la participació ciutadana, per exemple, mitjançant enquestes en línia per a conèixer l'opinió dels ciutadans o l'execució de votacions electròniques.
- d) Conservar el medi ambient mitjançant sensors que controlin la contaminació de l'aire i de l'aigua, al mateix temps que permetin aplicar polítiques verdes.
- e) Establir models logístics eficients: encaminament de vehicles, gestió de la recollida d'escombraries, neteja dels carrers, etc.
- f) Millorar els serveis de l'Administració: disminuir les cues i els temps d'espera a les oficines municipals o centres de salut, per exemple.
- g) Incrementar l'eficiència i la gestió energètica: autogeneració i emmagatzematge de l'energia d'origen renovable, gestió intel·ligent de la distribució d'energia (*smart green*) o gestió eficient de l'ús final de l'energia.

2.5.3. Domòtica

Altres aplicacions de IoT que en certa manera estan relacionades amb les ciutats intel·ligents són les anomenades cases intel·ligents i les comunitats intel·ligents.

Les cases intel·ligents tenen incrustats sensors i actuadors en diferents elements de la llar (electrodomèstics, calefacció, sistemes de tancament, il·luminació, reg, etc.) que es poden controlar remotament a través d'Internet. Els objectes intel·ligents de la llar capturen la informació del seu entorn i les activitats dels usuaris, preveuen comportaments futurs i ho preparen tot per endavant d'acord amb les preferències i necessitats de l'usuari, amb la qual cosa li proporcionen eficiència, confort i comoditat.

Aquesta automatització dels sistemes d'un habitatge rep el nom de domòtica. Amb la proliferació dels *smartphones*, la majoria d'aquests objectes es connecten i controlen mitjançant una aplicació mòbil, no solament des del mateix entorn de l'habitatge, sinó remotament via Internet (normalment establint una comunicació a través d'un *hub* que permet autenticar l'usuari i xifrar la transmissió de dades).

Si estenem el concepte de *casa intel·ligent* en un entorn urbà, tenim una comunitat intel·ligent. Les comunitats intel·ligents estan formades per una xarxa *multihop* de cases intel·ligents que contínuament monitoritzen l'entorn de la comunitat des de diferents aspectes i donen serveis, com ara alertes i accions automàtiques orientades a la seguretat de la llar, serveis d'ajuda davant emergències, manteniment de la qualitat de salut, etc.

2.5.4. Conducció autònoma

La indústria de l'automòbil és, tradicionalment, un dels sectors més conservadors quant a l'adopció de noves tecnologies, a causa de les exigents proves que han de realitzar-se per a garantir els aspectes de seguretat i fiabilitat.

No obstant això, aquesta indústria també s'ha vist influenciada pel creixement de la IoT, i és qüestió de temps que els vehicles estiguin cada vegada més connectats a la xarxa.

En aquest sentit, la conducció autònoma és una de les tendències que més està fent parlar en els últims anys, a causa de les implicacions que té per al transport de persones i mercaderies.

Creació de protocols propis

La gran majoria de les principals empreses tecnològiques han creat els seus propis protocols per a connectar diferents dispositius de domòtica amb el seu propi ecosistema, com són **Apple HomeKit** o **Google Home**.

Depenent del grau d'autonomia del vehicle, és necessari dotar-lo d'un conjunt de dispositius que li permetin prendre decisions i reaccionar a temps segons els diferents imprevistos que es trobi. A més dels diferents sensors, càmeres i radars amb què està equipat, el vehicle ha d'interactuar amb el seu entorn intercanviant informació amb altres vehicles (comunicacions V2V o *Vehicle-to-Vehicle*) o amb elements de la carretera (comunicacions V2I o *Vehicle-to-Infrastructure*) de manera que pugui rebre informació addicional que influeixi en aquesta presa de decisions.

Conseqüentment, és necessari també disposar d'un sistema de comunicació molt eficient, especialment pel que fa a la latència, per poder prendre aquestes decisions amb el menor endarreriment possible.

Per aquest motiu la conducció autònoma serà una de les principals beneficiades de la 5G, que preveu una latència bastant més petita que els actuals sistemes de comunicacions mòbils, incloses el 4G i el 5G. De fet, en els últims mesos s'estan intensificant les proves dels sistemes de conducció autònoms amb les primeres xarxes 5G.

Exemple de conducció autònoma

Un exemple d'aplicació de conducció autònoma en el qual intervien comunicacions V2V és l'anomenat *platooning*, en què es pot mantenir tota una comitiva de camions un darrere l'altre seguint una mateixa ruta.

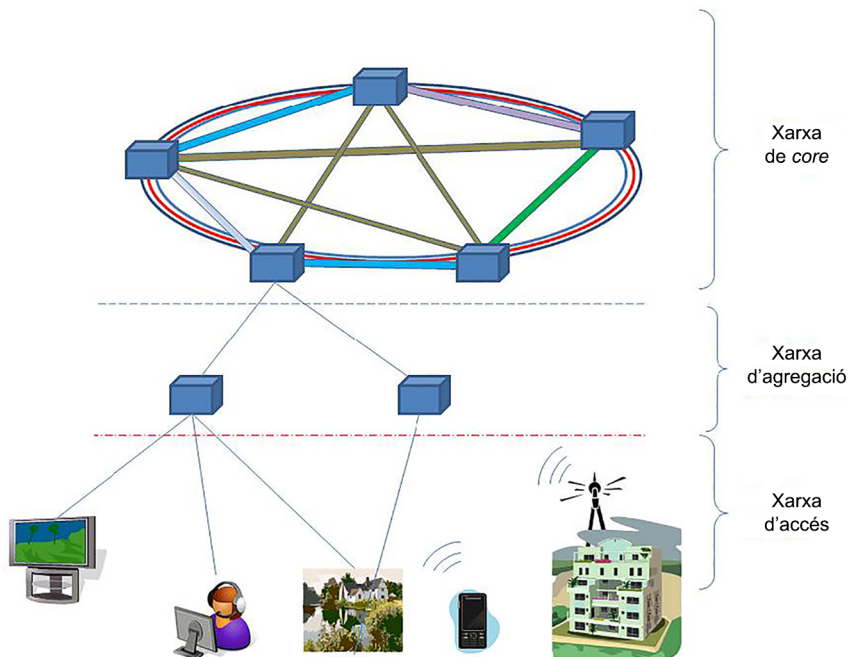
3. Tipus de xarxes de telecomunicacions segons la seva tecnologia

3.1. Segments que conformen una xarxa de comunicacions

En tota xarxa de telecomunicacions poden identificar-se tres grans segments:

- la xarxa d'accés
- la xarxa d'agregació
- la xarxa troncal o nucli de la xarxa (xarxa de *core*)

Figura 4. Segments que conformen una xarxa de comunicacions



Font: Creative Commons

Les **xarxes d'accés** són aquelles xarxes mitjançant les quals els usuaris es connecten al nucli de la xarxa –mitjançant una xarxa d'agregació– per obtenir un conjunt de serveis determinat. Es tracta de l'últim tram de la xarxa, coneguda com a última milla (*last mile*).

Les **xarxes d'agregació** serveixen per a fer convergir els tràfics de diferents usuaris amb l'objectiu de disminuir el nombre d'enllaços cap a un únic protocol de xarxa i maximitzar-ne així la capacitat, inferior a la suma de capacitats de les xarxes d'accés.

La **xarxa troncal** (*backbone*) o nucli de xarxa és el tram que correspon al *core* mateix de la xarxa, i transporta la informació de les xarxes agregades per proporcionar els serveis als usuaris finals. Es tracta d'una infraestructura d'alta capacitat, capaç d'agregar el tràfic de múltiples xarxes.

Mentre que les xarxes d'agregació i la xarxa troncal estan basades generalment en tecnologia de fibra, en el cas de les xarxes d'accés s'utilitzen una gran disparitat de tecnologies. De fet, són aquestes últimes les que més han evolucionat en els últims anys, amb l'objectiu de proporcionar cada vegada un ample de banda més gran als usuaris, de manera que les xarxes d'accés no suposin un coll d'ampolla per als serveis oferts.

3.2. Tecnologies cablejades

L'evolució tecnològica constant en l'àmbit de les comunicacions i la informació ha permès oferir increments en les velocitats de connexió a Internet, amb el desenvolupament conseqüent de continguts i aplicacions que utilitzen al mateix temps cada vegada més ample de banda.

Les tecnologies XDSL han aprofitat al màxim la capacitat de les xarxes tradicionals de coure per oferir velocitats de fins a 30 Mbps, al mateix temps que les xarxes de cable han anat millorant per incrementar també les seves velocitats. No obstant això, les xarxes d'accés de nova generació representen un salt més enllà de l'evolució d'una tecnologia sustentada en les xarxes tradicionals.

Els suports físics són bàsicament quatre: el cable parell de coure, la fibra òptica, el cable coaxial i la xarxa de potència elèctrica.

3.2.1. El cable parell de coure

El cable parell de coure tradicional usat en l'RTC té una capacitat de transport d'informació l'ample de banda del qual és insuficient per a les xarxes de nova generació. No obstant això, la seva capacitat pot incrementar-se utilitzant les tecnologies d'accés XDSL (*Digital Subscriber Line*).

La veu humana utilitza normalment freqüències d'entre 0 i 4 KHZ. El sistema XDSL aprofita la capacitat de la línia per transmetre dades a una banda de freqüència més alta que la que s'utilitza per a transmetre la veu. L'ample de banda es divideix en tres canals: un de veu (4 KHZ), un canal de baixada de dades (de la central a l'usuari) i un altre de pujada (de l'usuari a la central). Totes les dades passen a través d'un filtre que separa els senyals de baixa freqüència (veu) i alta freqüència (dades), de manera que es poden fer converses telefòniques i transmissió de dades simultàniament.

L'ample de banda lliurat a l'usuari depèn dels factors següents:

- La qualitat de les línies.
- La distància entre la central telefònica i l'usuari.
- El calibre del cable.
- El model de modulació utilitzat.

La primera norma XDSL va ser l'ADSL (*Asymmetric DSL*), que permetia velocitats de 8 Mbps de baixada i 1 Mbps de pujada. Les normes van anar succeint-se (ADSL2, ADSL2+) per arribar al VDSL (*Veryhigh bit-rate DSL*), una evolució de l'ADSL que permet subministrar dades a l'usuari amb unes velocitats de transmissió teòriques asimètriques (52 Mbps de baixada i 12 Mbps de pujada) o simètriques (26 Mbps tant de baixada com de pujada). El VDSL2 permet una transmissió de dades de tipus simètric i asimètric de fins a 250 Mbps de sortida de la central.

3.2.2. Cable coaxial

Les xarxes híbrides fibra/coaxial (*Hybrid Fibre Coaxial*, HFC) són una evolució de les xarxes de distribució de televisió per cable coaxial (CATV), en les quals s'ha substituït el cable coaxial per fibra òptica, a excepció de l'últim tram, el de l'accés al client. La particularitat d'aquestes xarxes és que ja transporten senyals de televisió, utilitzant gairebé tot l'ample de banda disponible en el descens. Per a permetre el tràfic bidireccional s'utilitza per al descens de dades l'espectre de diversos canals anteriorment destinats a la televisió, i per a la pujada s'utilitza un ample de banda reservat (les freqüències inferiors).

L'ús d'aquestes bandes es realitza segons les especificacions denominades DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*), la primera versió de les quals va ser aprovada el 1997. Aquests desenvolupaments permeten a les companyies de cable oferir serveis de veu i accés a Internet en competència amb les companyies de telecomunicacions tradicionals.

La velocitat de dades que s'obté depèn dels amples de banda assignats i de la modulació. L'últim gran protocol aprovat del DOCSIS és el 3.0 (2006), que permet multiplexar canals (*channel bonding*) i pot sobrepassar els 100 Mbps en els dos sentits (160 Mbps de baixada i 120 Mbps de pujada). A més, aquest estàndard ja suporta l'IPv6 i l'IPTV.

L'última revisió, el DOCSIS 3.1 (2014), pretén apropar-se encara més a les capacitats de les xarxes de fibra pura. No obstant això, ja s'està treballant en la propera especificació (DOCSIS 4.0), que elevarà les velocitats de transferència fins als 10 Gbps simètrics.

EuroDOCSIS

La versió europea de DOCSIS es denomina EuroDOCSIS. La diferència entre les dues versions és que els canals de cable tenen un ample de banda de 6 MHz a Amèrica (sistema NTSC) i de 8 MHz a Europa (sistema PAL).

3.2.3. Xarxes de potència

La comunicació per línies de potència (*PowerLine Communications*, PLC) és un nom genèric que s'atorga a la transmissió de dades pel segment de baixa i mitjana tensió de les xarxes elèctriques. Més específicament, es denominen sistemes de comunicació de banda ampla per línies de potència (*broad-band over powerlines*, BPL) les línies que ofereixen serveis d'alta velocitat de comunicacions. Un punt clau d'aquesta tecnologia és que no requereix la instal·lació del cablejat en l'última milla, atès que aprofita una infraestructura ja existent a les llars.

L'energia elèctrica arriba als usuaris en forma de corrent altern de baixa freqüència (50 o 60 Hz). L'esquema general del BPL consisteix en la superposició d'un senyal d'alta freqüència (de 2 a 100 MHz) amb baixos nivells d'energia sobre el senyal elèctric. Aquest senyal es transmet mitjançant la infraestructura de la xarxa elèctrica i es pot rebre i descodificar de manera remota. Així, el senyal BPL és rebut per qualsevol receptor BPL que es trobi a la mateixa xarxa elèctrica.

Actualment hi ha diversos estàndards per a sistemes BPL creats per diferents organismes (ESTI, CENELEC, FCC i IEEE), que s'enfoquen a temes com l'acoblament de línies elèctriques, la seguretat i la compatibilitat electromagnètica. D'altra banda, l'estàndard IEEE P1901 (publicat per primera vegada el desembre de 2010) recull un acord entre els grans fabricants per a definir els mecanismes de coexistència i interoperabilitat entre dispositius BPL, mecanismes de qualitat de servei i ample de banda, així com mecanismes de seguretat, cosa que permet el creixement del mercat.

La xarxa BPL s'estén des del transformador de mitjana a baixa tensió (l'equip de capçalera se situa just després del transformador per evitar que les dades passin a través seu) fins als comptadors dels abonats. La injecció del senyal a l'interior de les llars es fa mitjançant acobladors que realitzen l'acoblament del senyal després del comptador elèctric. Això es deu al fet que el comptador actua de barrera per al senyal, i encara que es poguessin transmetre dades passant per ell, la degradació d'aquestes dades seria tal que s'opta per evitar-ho. Dins de l'habitatge els equips es poden connectar a la xarxa mitjançant un equip terminal d'usuari (CPE) o mòdem.

D'altra banda, a causa de les característiques de la xarxa elèctrica i considerant que el senyal s'atenua amb la distància, s'utilitzen equips regeneradors o repetidors cada 200 o 300 m.

3.2.4. Fibra òptica

Per poder oferir serveis de banda ampla de manera massiva, resulta imprescindible disposar d'una tecnologia d'accés d'elevada capacitat i baix cost, que sigui al mateix temps capaç de proporcionar els nivells de qualitat de servei adequats a cada aplicació.

La fibra òptica té unes característiques excepcionals, com el seu petit pes i volum i el seu baix cost (la fibra en si mateixa); a més, és fàcil de manejar i té un gran ample de banda; s'han aconseguit baixes atenuacions i grans velocitats amb pocs repetidors. Així mateix, presenta possibilitats subterrànies i submarines. Per aquests motius la fibra òptica és un mitjà de transmissió molt interessant i durant els últims anys ha experimentat una forta implantació, la qual cosa ha provocat que els preus hagin baixat. El que abans era un sistema exclusiu per a empreses avui dia s'està expandint al sector residencial.

El terme FTTx (*Fiber-To-The-x*) s'utilitza per a denominar una família de tecnologies basades en la utilització de la fibra òptica fina en les proximitats de l'abonat. Els membres d'aquesta família es diferencien segons l'abast de la fibra i la proximitat a l'usuari final. Els principals tipus de xarxes FTTx que podem trobar són els següents:

- FTTH (*Fibre-To-The-Home*). La fibra òptica arriba fins a l'habitatge de l'usuari. Es poden aconseguir velocitats superiors als 100 Mbps.
- FTTE (*Fibre-To-The-Enclosure*). La fibra arriba fins a cada planta de l'edifici. Després s'utilitza coure, que té una longitud molt reduïda, de 10 a 50 m. Normalment s'empra en edificis d'oficines. S'implementa seguint l'estàndard IA/EIA 569B.
- FTTB (*Fibre-To-The-Building*). La fibra arriba fins a l'entrada de l'edifici i després s'utilitza el coure per a arribar a l'habitatge de l'usuari. La velocitat pot aconseguir els 100 Mbps.
- FTTN (*Fibre-To-The-Node*) o FTTC (*Fibre-To-The-Cabinet*). La fibra arriba fins a un node proper a l'usuari i després s'utilitza un cable parell de coure o cable coaxial. Aquest últim segment té una longitud màxima d'1,5 km en xarxes FTTN i 300 m en xarxes FTTC. El sistema pot donar servei a uns quants milers de clients. La velocitat depèn dràsticament de la distància entre l'usuari i el node.

Les tecnologies més habituals per al desplegament de les xarxes FTTX estan dins d'una d'aquestes categories:

- Xarxes òptiques passives o PON (*Passive Optical Networks*), que no requereixen alimentació externa per distribuir la informació a través de la xarxa.

- Xarxes òptiques actives o AON (*Active Optical Networks*), que requereixen components elèctrics actius instal·lats entre l'usuari final i la central.

Sota el paraigua de les tecnologies PON han sorgit tres variants que permeten la comunicació punt-multipunt. Es tracta del BPON (*Broadband PON*), EPON (*Ethernet PON*) i GPON (*Gigabit PON*). Les GPON tenen un bon abast (20 km) i velocitats que poden arribar als 2,5 Gbps.

D'altra banda, les PON permeten desplegar una sola fibra des de la capçalera de la xarxa, a partir de la qual es pot derivar un cert nombre de ramificacions (normalment fins a 32) per donar servei als abonats.

La fibra òptica també es pot desplegar amb una arquitectura punt. No obstant això, aquesta arquitectura requereix que a la central o capçalera hi hagi un transceptor òptic per abonat. Aquests dispositius tenen un cost elevat, per la qual cosa se solen utilitzar per a proporcionar accés a abonats empresarials en entorns urbans i metropolitans.

3.3. Tecnologies sense fils

En aquest apartat veurem quatre tipologies de xarxes sense fils que poden donar suport a les NGN:

- **Xarxes d'accés d'àrea personal (PAN) i domèstica (HAN).** Es tracta de tecnologies de curt abast i baixa potència. S'utilitzen tant en terminals mòbils d'usuari (mòbils, tauletes, etc.), com en nodes que formen part d'una xarxa de sensors.
- **Xarxes d'accés d'àrea local (LAN).** Emergeixen de les xarxes de computadores. Ajuden l'usuari corporatiu a expandir la seva àrea de serveis utilitzant una LAN.
- **Xarxes d'accés d'àrea metropolitana (MAN).** Són xarxes sense fils de llarg abast que intenten complementar els serveis que poden donar les xarxes *trunking* (sistemes de comunicacions mòbils privades) i les xarxes cel·lulars.
- **Xarxes cel·lulars.** Són una evolució de la telefonia mòbil com a eines de conversa i comunicació per a usos privats i comercials.
- **Xarxes de satèl·lit.** Utilitzen una flota de satèl·lits per a establir tot tipus de comunicacions sense dependre de les restriccions de les infraestructures terrestres.

3.3.1. Xarxes d'accés d'àrea personal (PAN) i domèstica (HAN)

A continuació es presenten les tecnologies de comunicacions de curt abast més usades en l'àmbit domèstic o industrial.

Near Field Communication (NFC)

La tecnologia NFC està inclosa dins dels sistemes d'identificació per radiofreqüència (RFID). L'RFID és un terme genèric per a descriure un sistema d'identificació automàtica que permet transmetre les credencials d'un objecte a una persona o entitat remota.

Dins del camp de l'RFID hi ha molts estàndards que operen a baixa freqüència (LF), a alta freqüència (HF) i a ultra alta freqüència (UHF). La tecnologia NFC és un subconjunt dels estàndards que operen a HF, basada en els estàndards ISO 14443, ISO 18092 i FeliCa.

El protocol NFC no solament suporta la comunicació entre un lector actiu i un *tag* passiu, sinó que permet la comunicació entre dos lectors actius. D'aquesta manera, un mòbil amb capacitats NFC pot llegir *tags* i rebre i transmetre dades a un altre mòbil NFC.

Bluetooth

Bluetooth és una especificació que defineix xarxes d'àrea personal sense fils (WPAN) i es basa en l'estàndard IEEE 802.15.1. L'objectiu d'aquestes xarxes és la transferència d'informació en distàncies curtes i entre un grup privat de dispositius. Estan dissenyades per no requerir pràcticament cap infraestructura i poder tenir xarxes *ad hoc* senzilles i de baix cost i consum.

Bluetooth utilitza la banda de freqüència lliure de 2,4 GHz i usa modulació per salt de freqüència (*Frequency Hopping Spread Spectrum*, FHSS). Els salts de freqüència es produeixen entre un total de 79 freqüències a intervals d'1 MHz. L'abast de la xarxa depèn del tipus de dispositiu Bluetooth i pot anar des de 0,5 m (dispositius amb 0,5 mW de potència) fins a aproximadament 100 m (100 mW de potència).

Les velocitats màximes assoleixen entre 2 i 3 Mbps, depenent de la versió utilitzada, encara que es poden obtenir velocitats encara més grans (fins a 24 Mbps) mitjançant l'agregació de xarxes 802.11, previstes en l'especificació 3.0. En la versió 4.0 es va crear una nova especificació per al BLE (*Bluetooth Low Energy*) destinada als dispositius de baix consum o a aquells que requereixen connexió contínua. Actualment, l'última especificació és el Bluetooth 5.

ZigBee

ZigBee és un conjunt de protocols de comunicació sense fils basats en l'estàndard IEEE 802.15.4. Està dirigit a aplicacions que requereixen comunicacions segures amb una baixa taxa de transmissió de dades i consum energètic. Pot utilitzar-se per a dur a terme control industrial o per a difondre les dades que recullen sensors en aplicacions domòtiques o mèdiques.

L'estàndard treballa normalment en la banda de 2,4 GHz, encara que en altres regions operen en bandes de freqüència més petites. En la banda citada, s'aconsegueixen velocitats de fins a 250 Kbps. En aplicacions *indoor* l'abast típic és de 10 a 20 m, encara que en *outdoor* es poden aconseguir 1.500 m. A diferència del Bluetooth, permet comptar amb un nombre més gran de nodes connectats, a més que ofereix un consum més reduït. Per contra, la velocitat de transferència és menor.

ZigBee

El gran avantatge de ZigBee és el seu baix consum energètic, de manera que un dispositiu pot tenir una autonomia de fins a cinc anys. Per a aconseguir-ho, l'estratègia és fer que els dispositius estiguin en mode adormit durant la major part del temps.

6LoWPAN

6LoWPAN és l'acrònim d'*IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks*. Igual que ZigBee, es tracta d'una tecnologia basada en l'estàndard de nivell d'enllaç IEEE 802.15.4. L'objectiu d'aquesta tecnologia és tenir un protocol de baix consum que sigui compatible amb els protocols d'Internet (pot transmetre paquets de tipus IPv6) per simplificar la interfície entre les xarxes de sensors i Internet. El repte és que l'estàndard IEEE 802.15.4 treballa amb paquets de 128 bytes de dades, al contrari que IPv6, que ho fa amb paquets de 1280.

Així doncs, 6LoWPAN requereix la fragmentació i reconstrucció dels paquets. L'especificació base RFC 4944 defineix els mecanismes d'encapsulat i compressió de les capçaleres, que permeten enviar i rebre paquets IPv6 a xarxes basades en IEEE 802.15.4.

3.3.2. Xarxes d'accés d'àrea local (LAN)

A continuació farem un breu resum de la tecnologia reina de les xarxes sense fils d'àrea local (Wi-Fi).

Wi-Fi

La tecnologia Wi-Fi és la tecnologia sense fil que té una difusió més àmplia en l'entorn domèstic. Està basada en l'estàndard IEEE 802.11 i opera en bandes de freqüència lliures (no requereixen llicència), les més comunes de les quals són la banda de 2,4 GHz o la de 5 GHz.

Hi ha diferents estàndards que han anat evolucionant al llarg d'aquests últims anys per oferir velocitats de transferència més elevades i donar resposta així a la demanda del mercat. Els últims estàndards fan ús de sistemes MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) per a augmentar les seves prestacions, fins al punt que arriben a oferir taxes de Gbps.

En la taula següent es detallen alguns dels principals estàndards usats, així com l'any d'estandardització oficial per part de l'IEEE, encara que en alguns casos certes empreses van començar a implementar-los abans en els seus productes comercials a partir dels *drafts* d'aquestes especificacions. Hi ha també altres estàndards que modifiquen els existents per oferir un abast més gran o altres especificitats.

Taula 1. Evolució dels estàndards Wi-Fi

Estàndard	Banda freqüències	MIMO	Velocitat màxima	Any
802.11 (<i>legacy</i>)	2,4 GHz	-	2 Mbps	1997
802.11a	5 GHz	-	54 Mbps	1999
802.11b	2,4 GHz	-	11 Mbps	1999
802.11g	2,4 GHz	-	54 Mbps	2003
802.11n	2,4 i 5 GHz	4 <i>streams</i>	600 Mbps	2009
802.11ac	5 GHz	8 <i>streams</i>	3,5 Gbps	2013

3.3.3. Xarxes d'accés d'àrea metropolitana (MAN)

A continuació, es presenta una de les tecnologies MAN amb més projecció, la WiMAX.

WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) són les sigles que identifiquen els productes que estan conformes amb l'estàndard d'accés sense fils IEEE 802.16. Aquest estàndard es va desenvolupar per proporcionar una xarxa sense fils fixa d'accés metropolitana, de manera que constituís una alternativa al cable o DSL i fos econòmicament més atractiu a l'hora de proporcionar accés a zones rurals o de difícil orografia.

Entre altres, WiMAX proveeix el següent:

- Abast de fins a 50 km en línia de visió directa i de 3 a 5 km en zones urbanes.
- Taxa de transferència de fins a 70 Mbps, segons la distància i les condicions QoS.
- Mobilitat del terminal d'usuari de fins a 120 km/h.

WiMAX

WiMAX es presenta com la tecnologia adequada per a donar serveis de banda ampla en zones on el desplegament de cable o cable de fibra òptica presenta uns costos per usuari molt elevats a causa de la baixa densitat de població (zones rurals).

- *Roaming* entre estacions base a menys de 50 m.
- Serveis de seguretat (autenticació dels nodes, xifrat de la informació, integritat i autenticació dels missatges).

Actualment es recullen dues variants dins de l'estàndard 802.16:

- **Fix.** Basat en l'estàndard 802.16d, s'estableix un enllaç ràdio entre l'estació base i l'usuari final
- **Mòbil.** Basat en l'estàndard 802.16i, presenta mobilitat completa, la qual cosa permet el desplaçament de l'usuari d'una manera similar a la que es pot donar amb xarxes cel·lulars.

Els nous desenvolupaments se centren en l'estàndard 802.16m (WiMAX release 2), que utilitza sistemes MIMO per a augmentar les velocitats de transferència fins a 365 Mbps, de manera que pot arribar a 1 Gbps mitjançant agregació de canals. La mobilitat del terminal d'usuari s'incrementa fins als 350 km/h, velocitat compatible amb els trens d'alta velocitat.

WiMAX estableix diferents opcions de capa física, amb la qual cosa permet solucions que requereixen visió directa amb l'estació base i d'altres que no la requereixen. Si bé l'estàndard permet el seu ús en un ampli rang de freqüències (fins als 66 GHz), els perfils que hi ha actualment al mercat o que estan en procés de desenvolupament per a la certificació d'equips compatibles amb WiMAX es limiten a les freqüències de 2,5 i 3,5 GHz (amb llicència) i a la freqüència lliure de llicència de 5,8 GHz, tots ells per a accés fix.

3.3.4. Xarxes cel·lulars

El sistema de **primera generació**, o 1G, es comença a desenvolupar a la fi dels anys setanta i principis dels vuitanta. És un sistema analògic de freqüència modulada (FM) que ofereix únicament serveis de veu. La qualitat de les trucades és baixa; la velocitat és de 2,4 Kbps.

La **segona generació** neix el 1990. Aquests sistemes introdueixen les comunicacions digitals i se centren a millorar la qualitat de la veu, la cobertura i la capacitat. L'estàndard més representatiu del 2G és el GSM (*Global System for Mobile phone communications*), que va néixer el 1992. Es basa en la transmissió d'informació mitjançant la commutació de circuits i utilitza una modulació digital de freqüència. Introdueix serveis nous, com la transmissió de missatges curts SMS (*Short Message Service*) o la possibilitat d'utilitzar el mòbil per a la connexió de dades a una velocitat de 9,6 Kbps.

La **tecnologia 2.5G** és un pas intermedi de 2G i 3G. La xarxa 2.5G corre a través del mateix espectre que la xarxa 2G i són compatibles entre si. Un dels estàndards més coneguts del 2.5G és el GPRS (*General Packet Radio System*).

Aquesta tecnologia utilitza commutació de paquets i és més viable que la tecnologia GSM per a la connexió a Internet, atès que l'establiment de connexió és molt ràpid, inferior al segon. Un altre avantatge de la commutació de paquets és que els recursos solament s'ocupen quan es transmet o rep informació i, per tant, la tarifació ja no és per temps sinó per dades. Això permet que neixin més aplicacions adaptades per al dispositiu mòbil, com ara de descàrrega d'arxius, la creació de mòbils amb càmera digital, etc.

La velocitat de transferència de GPRS és variable i depèn del nombre de *slots* (interval de temps) que s'utilitzin per a la transmissió de dades; es pot arribar a una velocitat de 56 Kbps usant els vuit disponibles.

La **tecnologia 2.75G** és una evolució de la 2.5G, coneguda com EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), que fa ús d'una tècnica de modulació millorada, amb una eficiència espectral més gran, que permet aconseguir velocitats mitjanes de 110 a 130 Kbps i una velocitat punta de 473 Kbps en canals de 200 kHz.

La **tercera generació** de telefonia mòbil cel·lular o 3G es caracteritza per la convergència de veu i dades a través de serveis IP. Les velocitats de transferència arriben fins als 2 Mbps.

La família dels sistemes de 3G es denomina mitjançant les recomanacions fetes per la Unió Internacional de Telecomunicacions (ITU), a través del seu conjunt d'estàndards conegut com IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications - 2000*).

Es defineixen tres tipus de tecnologies segons la zona geogràfica:

- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Sistema europeu que es veu com una actualització lògica de GSM, encara que els dos no són compatibles. Utilitza CDMA (accés múltiple per divisió de codi).
- CDMA2000 (*Code Division Multiple Access 2000*). És un sistema 3G basat en versions anteriors de CDMA usat principalment pels nord-americans.
- TD-CDMA (*Time Division CDMA*). És un estàndard 3G desenvolupat a la Xina, basat en CDMA, que utilitza TDD en lloc de FDD com a mètode d'accés al mitjà.

Tecnologia UMTS

El període de transició entre 2.5G i 3G va estar marcat per la tecnologia UMTS. UMTS presentava una cobertura limitada i per això durant la transició van sortir diferents alternatives utilitzant l'espectre de 2G.

Les xarxes UMTS s'han millorat mitjançant l'especificació **HSDPA** (*High Speed Downlink Packet Access*), que de vegades es qualifica com a **una tecnologia 3.5G** que permet augmentar les taxes teòriques de baixada a 14,4 Mbps.

HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), qualificat com a **generació 3.75G**, és una evolució d'HSDPA que consisteix en un protocol d'accés pujada de fins a 5,76 Mbps.

HSPA+ (*High Speed Packet Access Evolved*) és una combinació d'HSDPA i HSUPA. En la *release 8* s'utilitza MIMO per a transmetre diversos senyals en paral·lel; arriba fins als 42 Mbps de baixada.

Finalment, la **quarta generació** de telefonia mòbil està definida per les recomanacions fetes per la ITU mitjançant els estàndards IMT-Advanced. L'objectiu de la telefonia **4G** és la convergència de la banda ampla fixa i mòbil mitjançant:

- l'evolució de la xarxa fins a estar basada completament en tecnologia IP,
- la utilització de la commutació de paquets i
- la integració dels diferents tipus d'accessos (fix-mòbil) i una capa de serveis comuna perquè tots els usuaris finals puguin fer ús dels serveis multimèdia a la xarxa mòbil.

Una de les principals tecnologies que ha permès el pas a la 4G és l'**LTE** (*Long Term Evolution*), una tecnologia que pot proporcionar velocitats de transmissió superiors als 100 Mbps. LTE és una tecnologia definida pel 3GPP (*3 Generation Partnership Project*), en la qual participen els principals operadors i fabricadors. De la mateixa manera que WiMAX, utilitza un sistema de múltiples antenes MIMO per a minimitzar els errors de dades i millorar la velocitat. El sistema ràdio està basat en OFDM.

LTE permet utilitzar amples de banda variables (d'1 fins a 20 MHz) en diverses bandes de freqüència, segons el tipus de serveis que es desitgi proporcionar i la zona. L'ampli ventall de freqüències amb les quals pot treballar la converteix en una tecnologia eficaç que pot usar freqüències alliberades pel pas de la televisió analògica a digital.

L'arquitectura LTE segueix els mateixos paràmetres de disseny que les xarxes antecessores del 3GPP. L'arquitectura està dividida en tres parts:

- Equips d'usuari. Dispositius (telèfons intel·ligents, tauletes, etc.) que tenen un mòdul identificador denominat **USIM** (*Universal Subscriber Identity Module*), que s'utilitza per a identificar i autenticar l'usuari mitjançant claus de seguretat.

- Accés universal de ràdio terrestre evolucionat (E-UTRAN). Permet la connexió entre el nucli de la xarxa i l'usuari. La gestió dels recursos de ràdio es realitza mitjançant una assignació dinàmica als equips d'usuari.
- Nucli de paquets evolucionat (EPC). El nucli de la xarxa està basat en IP, la qual cosa permet la coexistència amb altres tecnologies. Dona suport a la interconnexió amb GSM, UMTS, HSPA, WiMAX o Wi-Fi, entre altres.

L'arquitectura LTE és molt simple: cada ràdio base es comunica directament amb el nucli de xarxa, la qual cosa permet reduir el cost del desenvolupament i manteniment de la xarxa.

No obstant això, segons les especificacions de l'IMT, l'LTE no està en relació amb les velocitats de la 4G, malgrat que molts fabricadors i operadors hagin etiquetat amb aquestes sigles els seus productes i serveis LTE. Es tracta més aviat d'un ús "tolerat" que obeeix a raons de màrqueting.

L'evolució de l'LTE és l'**LTE-Advanced**, que sí que està en relació amb les especificacions de la 4G de l'IMT. Es tracta d'una tecnologia totalment compatible amb LTE, però que permet millorar la taxa de transferència de dades, aconseguint taxes de 100 Mbps en alta mobilitat i 1 Gbps a baixa mobilitat, velocitats que permeten qualificar-la realment com a 4G.

La 5G és la successora de la 4G, i aporta, a més d'un augment en les velocitats de transmissió, millores significatives en els temps de latència i la connexió de múltiples dispositius, la qual cosa ha obert la porta a tot tipus de noves aplicacions en què hi ha interconnectats un gran nombre d'elements.

3.3.5. Xarxes de satèl·lits

Malgrat l'aparent complexitat de les comunicacions per satèl·lit, el concepte intrínsec a aquestes comunicacions és relativament senzill. Un satèl·lit pot ser vist com un simple repetidor (excepte els anomenats OBP) que replica a la sortida el que rep a l'entrada, la qual cosa permet connectar dues terminals distants sense necessitat de dependre d'una infraestructura local.

Això és especialment útil quan a causa de restriccions geogràfiques i/o econòmiques no es poden instal·lar equips terrestres fixos en una determinada ubicació (com una estació mòbil) o estructures cablejades (com ara fibra òptica), o no interessa fer-ho.

OBP (On board processing)

Si bé la majoria dels satèl·lits actuen com a "simples" repetidors, alguns d'ells són capaços de regenerar el senyal, gràcies a la seva capacitat de processament. És el cas d'AmerHis, el primer sistema digital de comunicacions de banda ampla per satèl·lit de tipus regeneratiu. No obstant això, són poc freqüents a causa de la seva complexitat i la dificultat d'actualitzar-los.

Les xarxes per satèl·lit són, doncs, especialment flexibles, i poden desplegar-se segons les necessitats específiques de l'entorn. Són també un sistema de *backup* molt eficaç, atès que no estan subjectes a talls deguts a desastres mediambientals, com ara terratrèmols.

No obstant això, a diferència de les xarxes cablejades, el seu ample de banda és bastant més limitat, atès que és un bé que s'ha d'aprofitar de manera eficaç, encara que els últims estàndards usen sistemes de modulació i codificació molt eficients per tal d'oferir altes velocitats de transferència.

A més, un dels inconvenients més grans de les xarxes per satèl·lit és el retard (enllaç de pujada de terminal a satèl·lit + enllaç de baixada de satèl·lit a terminal), especialment quan es fa ús de satèl·lits geoestacionaris, la qual cosa en limita l'ús en certes aplicacions en què la latència té un paper determinant.

Finalment, el cost del llançament dels satèl·lits, així com el cost dels seus components a prova de fallades (a causa de la dificultat del manteniment una vegada en òrbita), encareix aquest tipus de comunicacions i en limita l'ús a casos específics.

En funció de la topologia de xarxa usada, podem distingir els tipus següents de xarxes de satèl·lit:

- **Point-to-point** (punt a punt). És la configuració més senzilla; un terminal es comunica amb un altre usant un satèl·lit com a punt de connexió. L'enllaç pot ser unidireccional o bidireccional (*full duplex*). Solament es necessita, doncs, un salt per establir una comunicació. El seu punt fort, la seva simplicitat; el seu punt feble, el cost d'escalabilitat.
- **Star** (estel o punt a multipunt). Cadascun dels terminals està connectat a un node central o *hub*, que estableix les relacions entre cadascun dels terminals, de manera que qualsevol terminal es pot comunicar amb qualsevol altre. En aquest cas, es necessiten dos salts per establir una comunicació, un de terminal i satèl·lit, i un altre entre satèl·lit i *hub*. El seu punt fort, la possibilitat d'afegir més terminals al node de forma senzilla; el seu punt feble, el fet que totes les comunicacions passen pel *hub*, de manera que aquest és un coll d'ampolla potencial i un punt únic de fallada, ja que si "cau" el *hub* cauria tota la xarxa.
- **Mesh** (malla). Tots els terminals estan connectats entre si punt a punt, sense necessitat de node central o *hub*, la qual cosa permet comunicar-se amb un sol salt (especialment útil per a comunicacions de veu o videoconferència, per exemple). Els terminals solen necessitar antenes més grans que en el cas de la tipologia d'estel. Per estalviar ample de banda, algunes xarxes inclouen una estació de control que permet assignar-lo sota demanda. El seu punt fort, connectar múltiples terminals amb un únic salt (menor retard) i sense necessitat de *hub*; el seu punt feble, la necessitat d'usar una

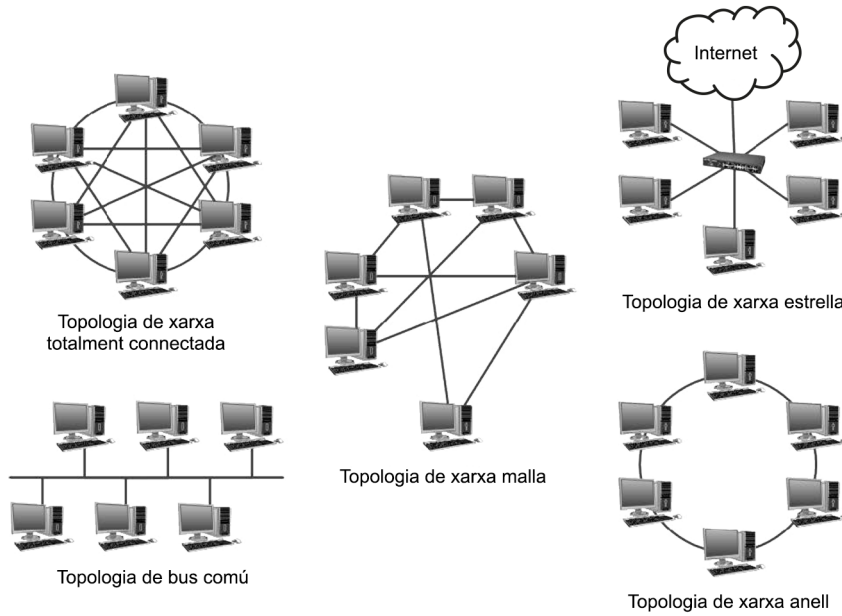
Xarxes de satèl·lit com a suport

Arran dels forts terratrèmols esdevinguts a la província de Sichuan (la Xina), el govern va establir l'obligatorietat d'usar les xarxes de satèl·lit com a sistema de comunicacions de *backup* per a bancs i altres organismes sensibles.

potència més elevada en els terminals, la qual cosa incrementa el cost de la xarxa en incrementar el nombre de terminals.

- **Xarxes híbrides.** Són una barreja de xarxes en estel i malla. Permeten que un *hub* es comuniqui amb els terminals, alhora que aquests es poden comunicar directament amb la resta de terminals de la xarxa.

Figura 5. Algunes tipologies de xarxa clàssiques



Font: Creative Commons

Hi ha multitud d'estàndards de comunicació per a les xarxes de satèl·lit que tracten de respondre a les diferents necessitats de cadascuna d'aquestes xarxes. A mesura que els mòdems i els algorismes de comunicacions avancen, sorgeixen nous estàndards que permeten comunicar-se a més velocitat i/o flexibilitat. Alguns d'aquests últims són:

- **DVB-RCS2.** El DVB (*Digital Video Broadcasting - Return Channel via Satellite*) és un estàndard obert de comunicacions interactives per satèl·lit, creat el 1998, que disposa d'una eficaç gestió de l'ample de banda. Gràcies a aquesta interactivitat, és capaç de proporcionar una connexió a Internet equivalent a la fibra, l'ADSL o el cable, però sense necessitat d'infraestructura terrestre local, encara que amb velocitats menors. A l'enllaç d'anada (*forward link*) s'usa l'estàndard DVB-S2, mentre que a l'enllaç de tornada (*return link*) s'usa MF-TDMA com a tecnologia d'accés al mitjà. En la segona generació, l'RCS2, publicada el 2009, la capa física ha estat actualitzada per oferir més prestacions i disposa d'una interoperabilitat més gran amb sistemes IP.
- **DVB-S2X.** És l'estàndard successor del DVB-S2, la segona generació de l'estàndard DVB-S2 usat per als enllaços d'anada (*forward*), i proporciona velocitats de connexió més elevades (gràcies a l'ús de modulacions i co-

dificacions més eficients), amb l'objectiu d'adequar-se a les demandes de serveis IP d'alta velocitat, com la UHD TV.

Si bé les xarxes de satèl·lits no s'han arribat a integrar dins de les xarxes de nova generació, sí que es pretén integrar-les dins de l'àmbit de les xarxes d'accés compatibles amb alguns serveis proposats per a la 5G.

4. L'evolució dels models de comunicacions i l'ús de les xarxes

Les xarxes tradicionals basades en un model centralitzat ja no són indispensables. Els canvis tecnològics han permès liberalitzar les telecomunicacions i fer que l'operador dominant que abans tenia el control sobre el bucle d'abonat ja no sigui un operador imprescindible. Han aparegut noves tecnologies d'accés a Internet que permeten reemplaçar l'accés de core per altres sistemes i el mercat s'ha obert a un nombre més elevat d'agents.

L'aparició de nous serveis i aplicacions, que ja no estan basats únicament en la difusió d'informació, sinó que es basen en les aportacions d'una comunitat per a crear aquesta informació, ha comportat la creació de nous models de xarxes de comunicacions.

Els propietaris i gestors de certs continguts, que anteriorment havien de negociar amb els operadors de telecomunicacions o de televisió per aconseguir arribar als consumidors finals, ara poden fer-ho mitjançant altres vies, com:

- un espai web,
- les xarxes socials,
- continguts via *streaming* que no necessiten intermediaris,
- les aplicacions de missatgeria instantània, etc.

La relació entre creadors de continguts i consumidors és molt més directa, àgil, ràpida i eficaç. I això també demana tenir nous models per a gestionar aquestes comunicacions.

En els últims anys hem viscut un creixent interès per a disposar d'una nova generació de xarxes capaç d'adaptar-se a aquests nous models i satisfer la demanda dels usuaris, proveint tot tipus de serveis des de qualsevol lloc i en qualsevol moment.

Els sistemes IMS estan tenint un paper molt important en aquest nou escenari, on la possibilitat d'oferir una QoS/QoE en concordança amb el servei prestat és determinant. Les últimes evolucions de les xarxes cel·lulars van en aquest sentit, a poder satisfer aquestes exigències d'ubiquïtat, a més d'oferir un ample de banda i la capacitat d'interactuar amb nuclis IMS.

QoE

Significa qualitat d'experiència o *Quality of Experience*.

4.1. El camí cap a la 5G

Mentre es desenvolupa, estandarditza i implementa la futura 5G, els primers passos de la seva gradual introducció passen per la coneguda com a 4.5 G, pre5G o, fent ús del terme oficial de la 3GPP, **LTE-Advanced Pro**.

El desembre de 2017, el 3GPP va aprovar un conjunt d'especificacions per a les comunicacions 5G, entre les quals hi havia la definició de la *5G New Radio* (NR) en NSO (Non-Standalone Operation), per a permetre'n la implantació usant la xarxa 4G LTE existent. Es tracta, doncs, dels primers passos cap a una 5G completament independent (*Standalone*).

Malgrat que encara queden molts aspectes per a definir per a la futura 5G, ja hi ha un consens bastant clar sobre quins són els paràmetres clau que serviran per a avaluar les prestacions i que se centren en tres eixos: **ample de banda més gran, menor latència i connexió massiva de dispositius** (per a IoT).

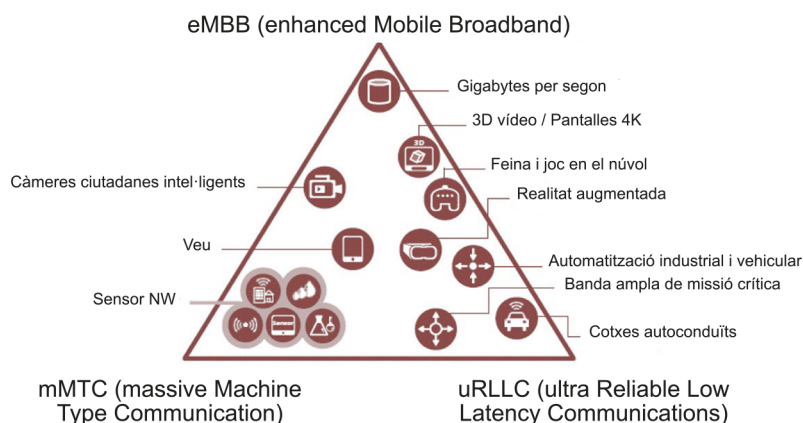
La 5G se centra en tres aspectes:

- **Ample de banda més gran.** Ús de noves bandes de freqüència (a més de les ja existents) que permetran augmentar encara més l'ample de banda ofert per l'LTE-Advanced, per a arribar a 40 Gbps teòrics. Igual que la 4G, es farà un ús encara més intensiu del sistema MIMO per tal d'augmentar l'eficiència del sistema.
- **Reducció dràstica de la latència.** Un dels avantatges més importants que ha de portar la 5G és la reducció de la latència, amb valors que arribarien fins a 1 ms (tot i que queda per veure encara la viabilitat tècnica d'arribar a 1 ms). Això permetrà oferir serveis d'alta fiabilitat per a aplicacions en què la latència exerceix un paper clau –com la conducció autònoma o la cirurgia a distància– i obrirà la porta al desenvolupament de nous serveis difícils d'implementar amb latències superiors, com els coneguts com a *edge computing* i *tactile internet*.
- **Increment del nombre de dispositius.** La 5G està dissenyada també per oferir una solució als sistemes IoT massius, en què un gran nombre de dispositius necessita connectar-se a Internet simultàniament. La 4G necessita reservar els recursos corresponents a cadascun dels dispositius IoT en el moment de connectar-se, la qual cosa augmenta la saturació de la xarxa; amb la 5G, la connexió podrà establir-se sense aquesta assignació de recursos.

En aquest sentit, l'especificació de 5G gira al voltant d'una sèrie de casos d'ús definits, dels quals es deriven una sèrie de serveis bàsics, que es poden agrupar en tres grans grups:

- **eMBB** (*enhanced Mobile Broadband*). Les primeres fases del 5G NSO s'enfocaran en aquest servei, que proporcionarà un ample de banda més gran juntament amb una latència moderada, usant 5G NR i les últimes evolucions de 4G LTE. Permetrà implementar els UC com les noves aplicacions emergents d'AR/VR o *streaming* de vídeo 360° i UHD. El segment *mobile broadband* és un dels més importants a causa de la seva gran rendibilitat.
- **uRLLC** (*Ultra Reliable Low Latency Communications*). Aquest servei se centrarà a oferir comunicacions ultra fiables i de molt baixa latència, per poder arribar idealment a 1 ms. Caldrà esperar, però, a la implementació del 5G Core.
- **mMTC** (*Massive Machine Type Communication*). Per a la connectivitat massiva de dispositius, ja que s'espera que en els propers anys es produeixi un augment significatiu del nombre d'*end devices*. És l'àmbit en el qual evolucionarà IoT.

Figura 6. Serveis bàsics de la 5G



Font: ETRI, ITU-R IMT 2020 Requirements

L'organisme d'estandardització **5G-PPP**, que compta amb entitats tant públiques com privades, preveu sis famílies de casos d'ús (*use cases* o UC), que permeten definir els diferents KPI per avaluar els serveis associats:

- **Dense urban**. Per a entorns urbans d'alta densitat, tant *indoor* com *outdoor*.
- **Broadband everywhere**. Enfocat per a entorns suburbans i rurals, així com trens d'alta velocitat.
- **Connected vehicles**. Per a vehicles V2V i/o V2X amb mMTC i/o xMBB.
- **Future smart offices**. Altes taxes de transferència per a entorn *indoor* i baixa latència.
- **Low bandwidth IoT**. Gran nombre d'objectes connectats.
- **Tactile internet/automation**. Comunicacions molt robustes per xMBB.

Els KPI que serveixen per a avaluar-los són:

KPI

De l'anglès *Key Performance Indicator*, pot traduir-se com un indicador clau de rendiment i és una mesura del nivell del rendiment d'un procés.

- Densitat de dispositius (*Device Density*)
- Mobilitat (*Mobility*)
- Infraestructura (*Infrastructure*)
- Tipus de tràfic (*Traffic Type*)
- Taxa de dades d'usuari (*User Data Rate*)
- Latència (*Latency*)
- Fiabilitat (*Reliability*)
- Disponibilitat (*Availability*)
- Tipus de servei 5G (*5G Service Type*): xMBB, uMTC (uRLLC), mMTC

Veient la quantitat de casos d'ús tan dispars que s'hauran de suportar, les xarxes 5G hauran de ser molt flexibles per poder adaptar-se als requisits tan dispars de qualitat de servei que cada servei sol·licita, així com a les circumstàncies de demanda de capacitat (suportar pics de demanda puntuals sense haver d'aprovisionar una gran quantitat de recursos per endavant).

Sens dubte 5G serà una xarxa multiservei que s'adaptarà als requisits de dimensionament que l'operador necessiti i d'aquest últim punt sorgeix el concepte de *network slicing*, en què una mateixa xarxa (d'accés o troncal) pot trossejar-se en N xarxes, però de dimensions més ajustades i totalment aïllades entre si (cap *slice* té efecte sobre un altre).

4.2. Virtualització de la xarxa

Les arquitectures de xarxa clàssiques es caracteritzen en general pel seu caràcter estàtic, en què tant els components de maquinari com de programari estan predeterminats. Això dificulta la capacitat d'adaptar una xarxa ja establerta a les necessitats concretes dels operadors, que normalment varia en funció de la demanda dels seus usuaris.

Amb el creixement d'Internet i l'ús més intens de les xarxes de comunicacions, que exigia velocitats de transferència més elevades i gestionar volums de dades més grans, les limitacions d'aquestes arquitectures s'han fet cada vegada més paleses. Per donar resposta a aquesta necessitat de flexibilització de les xarxes, els diferents proveïdors de serveis han tendit a evolucionar cap a nous models, com els proposats per l'ETSI el 2012 arran del *white paper* "Network Functions Virtualization".

La idea de virtualització és treballar amb elements estandarditzats que executen una determinada funció dins d'una xarxa (*router, switch, firewall*), en què es defineixen un conjunt d'interfícies que permeten interconnectar-se. Combinant aquestes funcions de xarxa virtualitzades o VNF (*Virtualized Network Functions*) és possible implementar un segment de xarxa virtualitzat, controlat per la NFV (*Network Function Virtualization*).

Gràcies a això, és possible implementar xarxes definides per programari o **SDN** (*Software Defined Network*) seguint un model centralitzat en què se separen les capes de control i de dades, i en el qual els esmentats elements de xarxa poden ser configurats per programari, la qual cosa permet adaptar la xarxa a les demandes específiques de cada moment. En els mòduls següents s'abordan els detalls de la virtualització.

Resum

L'evolució de les principals xarxes de telecomunicacions públiques en els últims anys segueix una clara tendència: la migració cap a IP com a tecnologia de xarxa universal.

També es preveu que les xarxes de telefonia mòbils segueixin aquest camí, que requereix un esforç significatiu a causa de la dimensió i la complexitat d'aquestes xarxes. Aquesta evolució es coneix com a xarxes de nova generació (NGN).

Les últimes evolucions de les xarxes cel·lulars, de fet, van en aquest camí. La trucada 4.5G/LTE-Advance permet la integració amb sistemes IMS, i prepara l'arribada de la futura 5G, que oferirà nous serveis integrats d'alt ample de banda i latència extremadament reduïdes.

Les xarxes de nova generació representen una nova filosofia en el disseny, la planificació i el manteniment de les xarxes de telecomunicacions. Es tracta de xarxes altament escalables i pensades per a poder evolucionar i oferir nous serveis. Poden suportar qualsevol aplicació, qualsevol dispositiu, qualsevol tecnologia d'accés cablejada o sense fils. L'objectiu és crear una plataforma eficient i amb baixos costos d'operació gràcies a comptar amb sistemes de comunicació unificats.

El procés cap a la convergència està basat en l'evolució de les tecnologies i els models de negocis. Les NGN, així com la seva evolució a 5G, tracten d'unificar tots els serveis (veu, dades, vídeo) sobre una mateixa xarxa IP. La unificació com a tal implica xarxes convergents de serveis i infraestructura.

En aquest mòdul hem vist el context actual de les aplicacions i serveis TIC que estan portant la xarxa a models més descentralitzats, oberts, flexibles i ràpids, i en què l'usuari cada vegada adquireix més protagonisme.

D'altra banda, hem fet un repàs de les xarxes d'accés actuals, tant cablejades com sense fils, que poden suportar les NGN.

Exercicis d'autoavaluació

1. Molts operadors anomenen 4G els serveis basats en l'estàndard LTE:

- a) Per quins motius això és inexacte?
- b) Quins requisits ha de complir la xarxa per ser compatible amb 4G segons l'IMT?
- c) Hi ha alguna versió d'LTE que compleixi aquests requisits?

2. La reducció dràstica de la latència és una de les millores clau que busca oferir la futura 5G.

- a) Explica quins tipus d'aplicacions poden beneficiar-se d'aquest tipus de latències.
- b) En aquest marc, què és l'*edge computing*?
- c) I el *tactile internet*?

Solucionari

Exercicis d'autoavaluació

1.

a) Molts operadors van passar a etiquetar com a 4G serveis basats en els estàndards LTE però que no complien pròpiament els requisits definits per l'IMT per catalogar-se com a 4G.

b) L'IMT defineix que perquè un estàndard pugui ser anomenat de quarta generació (4G) ha de complir uns requisits mínims de velocitat: fins a 100 Mbps en entorns mòbils i fins a 1 Gbps en entorns fixos o de baixa mobilitat. Els primers sistemes basats en LTE oferien velocitats molt inferiors a aquests requisits, i tot i així molts fabricadors i operadors van etiquetar els seus productes i serveis com a 4G.

c) No va ser fins a l'estandardització de l'LTE-Advanced que es van poder oferir aquestes velocitats, per a ser reconegut com a compatible 4G.

2.

a) Aquesta reducció permet oferir serveis d'alta fiabilitat per a aplicacions en què el temps de resposta del servei és de vital importància, com en aplicacions de cirurgia a distància o en els vehicles autònoms.

b) Es coneix com a *edge computing* el fet de portar part d'una aplicació o servei del nucli cap a un extrem (*edge*) més proper del món físic i dels usuaris, amb la qual cosa es redueix la latència.

c) L'ITU defineix el *tactile internet* com aquella xarxa d'Internet que combina latència molt baixa amb una alta disponibilitat i fiabilitat, que permet implementar sistemes interactius en temps real. A diferència dels sistemes actuals d'IoT, on els dispositius d'entrada/sortida fan cert processament abans d'enviar les dades cap a la xarxa (Internet), en el *tactile internet* les dades que resulten d'aquesta interacció són processades directament a la xarxa, cosa que simplifica (o fins i tot elimina) part del processament realitzat en aquests dispositius. És per aquest motiu que la xarxa necessita una latència extremament baixa (del volant d'1 ms o menor) per proporcionar una interactivitat equivalent.

Glossari

ADSL *Asymmetric Digital Subscriber Line*. Línia de subscriptor digital asimètrica.

DSL *Digital Subscriber Line*. Línia de subscriptor digital.

EDGE *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*. Dades millorades per l'evolució de GSM.

FH *Frequency Hopping*. Tecnologia basada en els salts de freqüència.

FTT-x *Fiber-To-The-x*. Xarxa de fibra òptica.

GPRS *General Packet Radio Service*. Servei general de paquets via ràdio.

HFC *Hybrid Fiber Coaxial*. Xarxa híbrida de fibra i coaxial.

HSPA *High Speed Packet Access*. Accés de paquets d'alta velocitat.

IoT *Internet of Things*. Internet de les coses.

M2M *Machine to Machine*. Comunicacions màquina a màquina.

NFC *Near Field Communication*. Comunicacions sense fils de curt abast.

NFV *Network Function Virtualization*. Virtualització de funció de xarxa.

NGN *Next Generation Network*. Xarxa de nova generació.

PAN *Personal Area Networks*. Xarxa d'àrea personal.

RFID *Radio Frequency Identification*. Identificador per radiofreqüència.

RTC Xarxa telefònica commutada.

SDN *Software Designed Network*. Xarxa definida per programari.

UMTS *Universal Mobile Telephone System*. Sistema de telefonia mòbil universal.

VDSL *Very High Speed Digital Subscriber Line*. DSL a molt alta velocitat.

WLAN *Wireless Local Area Network*. Xarxa d'àrea local sense fils.

Bibliografia

FCC (novembre 2002). *Spectrum Policy Task Force Report*. ET Docket (núm. 02-155).

ITU-T Recomanació Y.2001 (desembre 2004). *General overview of NGN*.

ITU-T Recomanació Y.2011 (octubre 2004). *General principles and general reference model for Next Generation Networks*.

ITU-T Recomanació Y.2012 (abril 2010). *Functional requirements and architecture of Next Generation Networks*.

Plevyak, Th. (abril 2010). *Next Generation Telecommunications Networks, Services, and Management*. IEEE Press Series on Network Management. John Wiley & Sons. ISBN 978-0-470-57528-4.

Enllaços d'interès:

5G PPP use cases and performance evaluation models: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5g-ppp-use-cases-and-performance-evaluation-modeling_v1.0.pdf