

# Context actual i evolució cap a les xarxes de nova generació

Helena Rifà Pous

PID\_00175625



*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

<b>Introducció</b> .....	5
<b>Objectius</b> .....	7
<b>1. Context actual en les aplicacions i usos de les xarxes</b> .....	9
1.1. Internet i la societat del coneixement .....	9
1.2. Sistemes distribuïts .....	14
1.2.1. Computació en el núvol ( <i>Cloud Computing</i> ) .....	14
1.2.2. Computació <i>Grid</i> .....	15
1.3. Xarxes socials .....	16
1.4. Evolució dels models de comunicacions .....	18
1.4.1. Xarxes <i>ad hoc</i> .....	18
1.4.2. Xarxes de sensors .....	21
1.4.3. Xarxes de ràdio cognitiva .....	22
1.5. Internet de les coses .....	26
1.5.1. Comunicacions màquina-màquina (M2M) .....	29
1.5.2. <i>Smart cities</i> .....	30
<b>2. Xarxes d'accés de nova generació</b> .....	32
2.1. Tecnologies cablejades .....	33
2.1.1. El parell de coure .....	33
2.1.2. Cable coaxial .....	35
2.1.3. Fibra òptica .....	36
2.1.4. Xarxes de potència .....	37
2.2. Tecnologies sense fil .....	39
2.2.1. Xarxes d'accés d'àrea personal (PAN) i domèstica (HAN) .....	39
2.2.2. Xarxes d'accés d'àrea local (LAN) .....	41
2.2.3. Xarxes d'accés d'àrea metropolitana (MAN) .....	42
2.2.4. Xarxes cel·lulars .....	44
<b>Resum</b> .....	48
<b>Activitats</b> .....	49
<b>Glossari</b> .....	50
<b>Bibliografia</b> .....	51



## Introducció

Les xarxes de comunicacions han esdevingut un element clau de la infraestructura econòmica d'un país, sobretot des del desenvolupament d'Internet. L'adveniment de xarxes d'alta velocitat i el fet que aquestes estiguin disponibles tant a usuaris residencials com de negocis ha fet aparèixer una nova gamma de serveis que han augmentat encara més la importància de les infraestructures de comunicació en la societat actual. Serveis en línia en àrees com l'educació, la salut, el medi ambient, i el desplegament de les xarxes socials, estan tenint un paper fonamental en el desenvolupament de la societat del coneixement.

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 portar Internet a qualsevol dispositiu, en qualsevol lloc, moment i situació, és el que anomenem 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 a través del desenvolupament dels protocols d'Internet.

Per tal d'aconseguir la ubiqüitat d'Internet s'ha de treure tot el potencial de les noves tecnologies de xarxa. Cal que les NGN tinguin un caràcter universal, assegurant l'adequada cobertura en diferents zones geogràfiques. Per això, és important que els mercats siguin realment competitiu i aquest fet 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 ha d'estimular la creació de nous serveis.

Les xarxes de nova generació busquen una integració de xarxes de veu dades i vídeo, que utilitzi una tecnologia en mode de transport de paquets (com IP) per a tota mena d'informació. La xarxa ha de garantir una qualitat de servei (QoS) per a diversos tipus de trànsit i nivells de prioritat de dades, com el vídeo i la veu en temps real. A més 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 un desplegament ràpid de tots els serveis, 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.

- L'arquitectura de xarxa consisteix en una capa de transport, control de serveis, i aplicació, totalment separades i independents.
- Interfícies obertes.
- Integració de serveis.
- Capacitats de banda ampla amb Qualitat de Servei extrem a extrem.
- Integració amb les xarxes actuals.
- 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.

Des d'un punt de vista tècnic, el terme NGN engloba els elements següents:

- Les xarxes d'accés de nova generació, és a dir, el desenvolupament de tecnologies en el bucle d'abonat per tal de proporcionar alta velocitat i garantir l'entrega dels nous serveis.
- El nucli de la xarxa, que evoluciona com una infraestructura IP capaç de portar un ventall de serveis de vídeo, dades, etc.

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 usos de les xarxes de telecomunicacions.
- 2.** Prendre consciència dels canvis socials associats a l'evolució de les xarxes.
- 3.** Conèixer les xarxes d'accés que poden donar lloc a les NGN.





## 1. Context actual en 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 monopolista que generava grans economies d'escala.

A partir dels anys 90 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'una major amplada de banda.

Amb l'entrada al segle XXI els canvis més rellevants són el pas de les connexions de banda estreta a banda ampla, i la introducció de les xarxes d'accés de dades mòbils. Sorgeixen avenços tecnològics en el camp de la radiofreqüència, en les modulacions, i en l'optimització de l'ús dels recursos espectrals. Es comencen a dissenyar nous models de xarxes d'accés que permeten arribar més fàcilment a qualsevol usuari i dispositiu de manera viable i eficient. Les tecnologies d'ADSL i xDSL, els protocols de xarxes WLAN, i l'evolució de les tecnologies 3G penetren de tal manera que l'amplada de banda va reduint el seu cost alhora que se n'incrementa el seu ús. A més, hi ha una convergència en el tipus de serveis i funcionalitats que volen donar les xarxes. Tant si es tracta de la xarxa telefònica commutada (XTC), de la xarxa de TV per cable, de xarxes sense fil, etc. totes elles volen donar accés a tot tipus de serveis multimèdia.

En aquest apartat farem un repàs a la situació actual d'Internet, veurem quina ha estat l'evolució dels serveis de la Xarxa en els últims anys, i també veurem quina ha estat l'evolució social lligada a aquests canvis.

### 1.1. Internet i la societat del coneixement

Internet s'ha convertit en un dels principals factors de canvi social i econòmic de la societat del segle XXI. Tot i que inicialment va néixer com un projecte acadèmic i de recerca militar, a poc a poc es va convertir en la xarxa de xarxes global, i avui dia és una part indispensable de la vida actual. La influència d'Internet ha fet canviar la manera com les persones interactuem, la manera de fer negocis, d'aprendre, de mantenir les amistats, en definitiva, de procedir en el dia a dia.

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

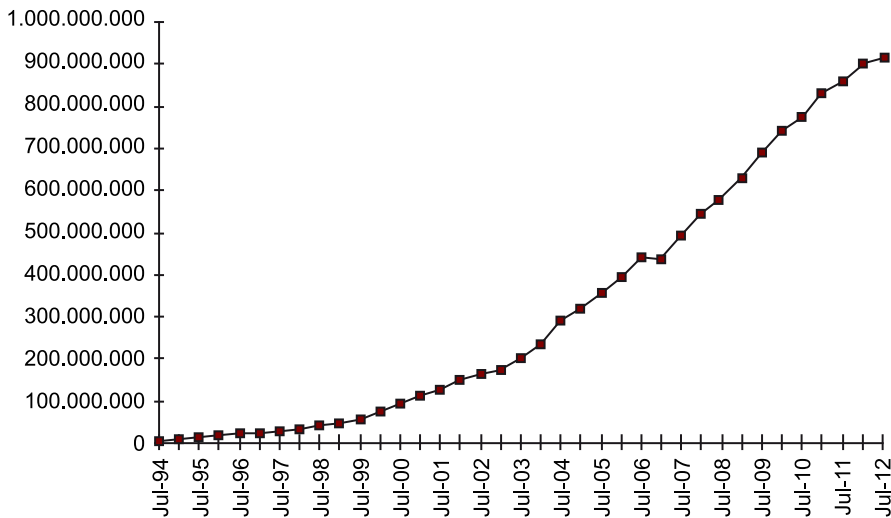
En termes tecnològics, Internet ha evolucionat des de ser una xarxa amb la finalitat d'unir un grup d'ordinadors per a intercanviar informació textual amb una política *best-effort*, a haver de suportar massives quantitats de dades per mitjà de milions de servidors proporcionant al mateix temps una alta fiabilitat, seguretat i qualitat de servei. L'arquitectura i els protocols originals d'Internet no estaven dissenyats per a suportar tots aquests requeriments. La Xarxa es caracteritzava per la seva simplicitat, la infraestructura de xarxa es limitava a donar un servei de transport d'informació, i la intel·ligència residia en els terminals extrems, en els propis ordinadors dels usuaris.

Al final del segle XX Internet es va convertir en una eina bàsica per a compartir, transmetre i executar grans volums d'informació textual. Es van desenvolupar grans cercadors textuais que permetien tenir accés a la informació de les bases de dades connectades. Els avenços en el camp de la transmissió òptica i l'augment de la potència de càlcul dels processadors (tant corporatius com personals) van permetre posar a l'abast dels usuaris potents eines d'anàlisi i visualització de la informació.

Aquest impuls tecnològic va iniciar l'era dels multimèdia. 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 creació del World Wide Web (WWW) al principi i meitat dels anys 90.

La Xarxa 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 hi van entrar nous proveïdors de serveis com ara activitats relacionades amb la salut, l'educació, la indústria, o noves formes de comunicació. Des de llavors que el nombre d'usuaris d'Internet ha anat creixent exponencialment (vegeu la figura 1).

Figura 1. Número d'usuaris d'Internet



Font: Internet Systems Consortium ([www.isc.org](http://www.isc.org))

En els últims 15 anys el nombre d'usuaris d'Internet també ha crescut molt gràcies a l'evolució de les tecnologies d'accés mòbil. Al final dels anys 90 es van posar a l'abast dels ciutadans serveis de dades de baixa velocitat utilitzant la telefonia mòbil. Això va permetre que l'usuari estigués permanentment comunicat a Internet, i va obrir un camí cap al concepte de xarxa instantània i ubíqua.

Paral·lelament al desenvolupament de serveis de dades en la telefonia cel·lular, es van començar a desplegar les xarxes d'àrea local sense fil que permetrien el transport de dades a una velocitat tres ordres de magnitud superior.

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

A escala de Xarxa neix un nou protocol IP (IPv6), que permet expandir les capacitats d'adreçament i encaminament del protocol, el qual simplifica el format de la capçalera, millora el suport per a incorporar noves opcions al protocol, té capacitats de qualitat de servei, té capacitats per a l'autenticació i la privacitat, l'autoconfiguració, i el *multihoming* (un usuari/entitat pot tenir múltiples adreces IPv6).

Paral·lelament als factors tecnològics, hi ha un altre motor del canvi d'Internet impulsat pel creixement exponencial del nombre dels usuaris i pels nous usos que en fan aquests de la Xarxa com són la comunicació, el treball o el lleure

i les relacions econòmiques que se'n deriven. La xarxa va ser creada per interconnectar ordinadors, però s'ha produït un canvi i ara l'usuari n'és l'element central, tant pel disseny de nous serveis i aplicacions com pel seu propi ús.

Les millores d'Internet han impulsat la creació de nous serveis en els sectors de l'educació, la salut, la indústria o el lleure, entre altres, fonamentats en el transport de tot tipus d'informació (àudio, vídeo, dades) a velocitats cada cop més elevades, la ubicuïtat de les comunicacions fruit de la mobilitat, la instantaneïtat de tot tipus de comunicació, la introducció d'Internet en els objectes o en la mateixa natura, o l'heterogeneïtat de dispositius i continguts.

El camí cap a la convergència neix amb la creixent digitalització 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. Això permet l'oferta de serveis *triple-play* o *quadruple-play*, és a dir, la prestació conjunta de tres o quatre serveis (dades, televisió, serveis de veu fix, i serveis de veu mòbil) que tradicionalment es proporcionaven amb diferents xarxes.
- **Convergència en els terminals**. La majoria d'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 cel·lular, TV, ordinador, telèfon fix) per 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 per mitjà 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 la multimèdia.
- **Convergència (o cooperació) legislativa i institucional** entre les regulacions de telecomunicacions i de xarxes de difusió.
- **Convergència en l'experiència d'usuari**. 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 o nous operadors. Les grans operadors de telecomunicacions tenen un paper fonamental en el procés de convergència, però els nous actors tenen l'oportunitat d'adoptar diferents models de mercat. Un exemple és la veu sobre IP, que trenca amb el model dels serveis tradicionals i empeny el negoci cap

a l'adopció de xarxes de nova generació. Els proveïdors de serveis d'Internet van començar a oferir VoIP com una manera barata d'establir comunicacions. Els serveis s'oferien en una política de *best-effort* per terceres entitats, sobre una connexió Internet qualsevol. Avui el mercat ha evolucionat i han sorgit serveis VoIP millors, amb operadors d'accés a la xarxa que proporcionen VoIP com un reemplaçament dels serveis de veu per XTC, sovint garantint accés al serveis d'emergència i amb una certa qualitat de servei. Els proveïdors de serveis d'Internet continuen oferint serveis de VoIP des de diferents plataformes i des de qualsevol lloc del món. La VoIP mòbil també està emergint, tant com un servei proporcionat per l'operador de xarxa o com una aplicació que es pot descarregar en qualsevol mòbil que tingui Wi-Fi. Aquest tipus d'iniciatives posen pressió als actuals operadors mòbils perquè cobrin tarifes planes per als mòbils de manera que s'augmenti el nombre de persones que accedeixen a Internet a través del mòbil i no a través de connexions fixes.

Pel que fa als serveis de continguts, encara no s'ha explotat totalment el seu potencial. En la majoria de casos l'accés al contingut s'ofereix d'una manera semblant a les xarxes de difusió tradicionals, amb uns horaris, una distribució geogràfica, amb esquemes de copyright molt rígids, i amb poc grau d'interactivitat i un esquema de cobrament tradicional. De mica en mica, els operadors estan començant a oferir programació més flexible amb vídeo sota demanda i distribució de continguts de vídeo dels *sites* més populars. Els canvis sovint succeeixen perquè els usuaris han començat a intercanviar el seu propi contingut en multiplicitat de dispositius, que impliquen un canvi en els models de consum i distribució.

### **Què se n'espera de les xarxes de nova generació?**

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, es beneficien d'uns preus més baixos. Poden escollir entres múltiples proveïdors de serveis per a obtenir un màxim avantatge de les ofertes competitives o obtenir una sola factura per a tots els serveis de veu, dades, vídeo i mòbil. La factura de l'usuari s'ajusta als serveis gaudits, i disposa d'una àmplia oferta de productes i serveis. A més a més, la NGN facilita la interacció amb l'usuari ja 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 cablejat) per veu, dades, vídeo i jocs, i obtenir serveis sota demanda.

Des del punt de vista dels desenvolupadors d'aplicacions l'NGN ofereix recursos i interfícies (API) a través de les quals es poden desenvolupar aplicacions.

Finalment, des del punt de vista de les operadores, el fet de tenir una sola plataforma multiserveis d'alta velocitat els permet reduir els costos de desplegament de la xarxa i d'operació alhora que també hi ha possibilitats d'oferir un gran rang de serveis avançats. S'incrementa la rendibilitat de la xarxa i es redueix el màxim el temps de recuperació de les inversions, ja que es factura als usuaris per múltiples serveis però de fet estan utilitzant la mateixa infraestructura, la mateixa xarxa. A més a més, pel fet que la xarxa estigui basada en paquets hi ha un estalvi de potència i menys requeriments d'espai.

## 1.2. Sistemes distribuïts

L'evolució tecnològica ha propiciat 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 per tal que 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.

### 1.2.1. 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 realitzar la seves tasques sota demanda a través de 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 fa servir (programari, emmagatzemament en disc durs, accés a base 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 estigui on estigui.
- **Escalabilitat:** capacitat per a entregar 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 s'ha de preocupar dels detalls de la infraestructura o el sistema operatiu que hi ha per sota a l'hora d'usar un servei.

D'altra banda, els principals inconvenients que es poden identificar amb la computació en el núvol estan relacionats amb la protecció de la seguretat i privacitat 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.

La computació en el núvol pot treballar en quatre modalitats:

1) **Núvol privat:** la infraestructura del núvol només 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 a 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 o més núvols que permeten la portabilitat de dades i aplicacions d'un núvol a d'altres a través de 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.

### 1.2.2. Computació *Grid*

La computació en el núvol a vegades es confon amb la computació *grid*, però no és exactament el mateix. El concepte de *grid* va néixer a l'inici dels anys 90 com a proposta per al desenvolupament d'infraestructures computacionals avançades per al suport de la ciència i l'enginyeria. La computació *grid* vincula processadors disperss 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 Xarxa. El seu focus és en la disponibilitat més que en una alta potència de càlcul, permetent utilitzar més recursos si es produeix un pic de demanada, i apagar recursos si no estan essent utilitzats. La computació *grid* pot estar o no en el núvol, dependent 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 elles (o aquesta sigui 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 darreres formen part dels sistemes de computació voluntària, uns sistemes en els quals els recursos provenen de diverses fonts independents entre ells, essent habitual que procedeixin d'usuaris particulars que aporten recursos dels seus ordinadors personals quan no els estan utilitzant.

Aquests sistemes són un exemple del nou rol que els usuaris estan agafant en les xarxes del futur, passant de ser un mer espectador, a ser els principals actors de les accions que s'hi porten a terme.

### **Exemple**

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 demanant a les persones voluntàries que col·laborin en la investigació deixant els recursos no utilitzats del seu ordinador personal per a 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 el treball en el temps i la forma estipulada. Un dels seus projectes amb més èxit de BOINC és el SETI@home, el qual tenia la finalitat d'investigar els fenòmens de l'espai interestel·lar.

## **1.3. Xarxes socials**

Internet ha evolucionat creant nous productes, serveis, i fins i tot nous models de comunicació i de relació entre les persones. Les persones ja formen part de la mateixa xarxa esdevenint una 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 a conèixer les accions que han realitzat en el sistema els usuaris amb els quals està connectat. Les xarxes socials es poden representar en forma d'un graf o diversos en els quals els nodes representen els individus i les arestes les relacions entre ells. Les relacions poden ser de diferents tipus, intercanvis financers, amistat, col·laboració professional, etc. Les xarxes socials propicien la interacció de milers de persones en temps real.

Les xarxes socials es poden classificar segons diverses relacions:

a) Segons el seu objectiu i temàtica:



- Xarxes horitzontals, dirigides a tot tipus d'usuaris i sense una temàtica definida. Exemples: Facebook, Twitter, Orkut o Identi.ca.
- Xarxes verticals, concebudes sobre un eix temàtic agregador. Exemples: Viadeo, Xing i LinkedIn per a generar relacions professionals, Wipley, Minube Dogster, Last.FM i Moterus, per a temes d'oci.

b) Segons el subjecte principal de la relació:

- Xarxes socials humanes, centren la seva atenció a fomentar les relacions entre persones unint individus segons el seu perfil social i els seus gustos i aficions. Exemples: Koornk, Dopplr, Youare i Tuenti.
- Xarxes socials de continguts, desenvolupen les relacions unint perfils a través de contingut publicat o els arxius que l'usuari té al seu ordinador. Exemples: Scribd, Flickr, Bebo i Friendster.

c) Segons la localització geogràfica:

- Xarxes socials sedentàries, muten segons les relacions entre les persones, els continguts compartits, o els esdeveniments creats. Exemples: Rejaw, Blogger, Kwippy, Plaxo, Bitacoras.com i Plurk.
- Xarxes socials nòmades, muten segons els mateixos factors que les xarxes sedentàries i a més tenen un nou factor que és la localització del subjecte. Aquestes xarxes es reconstrueixen segons les persones que es trobin geogràficament a prop del lloc que hi sigui el subjecte, els llocs que ha visitat, o els que té pensat veure. Exemples: Latitud, Brighkite, Fire Eagle i Scout.

El remarcable creixement de les xarxes socials arreu del món és un dels indicadors més clars que les tecnologies digitals estan canviant radicalment el marc de comunicació i 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 mantenen els contactes. S'utilitzen tant per a mantenir converses amb amics i amigues als quals veiem cada dia, com per a les comunicacions amb coneguts o familiars amb qui no coincidim 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 simplificant els mitjans de comunicació. Les actualitzacions de l'estat d'una persona a través de missatges curts permeten una comunicació àgil i simple.

## 1.4. Evolució dels models de comunicacions

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 coure 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 fet sorgir nous models de xarxes de comunicacions. Els propietaris i gestors de certs continguts que anteriorment havien de negociar amb les operadores de telecomunicacions o de televisió per a aconseguir arribar als consumidors finals, poden fer-ho ara per mitjà d'altres vies:

- Per mitjà d'un espai web.
- Per mitjà de les xarxes socials.
- Per mitjà de continguts via *streaming* que no necessiten intermediaris.
- Per mitjà de 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.

### 1.4.1. Xarxes *ad hoc*

Les xarxes *ad hoc* i les xarxes de sensors (que veurem en el punt següent) són dos tipus relativament nous de xarxes sense fil amb arquitectures i propietats molt diferents a les xarxes sense fil tradicionals, com les cel·lulars o les xarxes Wi-Fi.

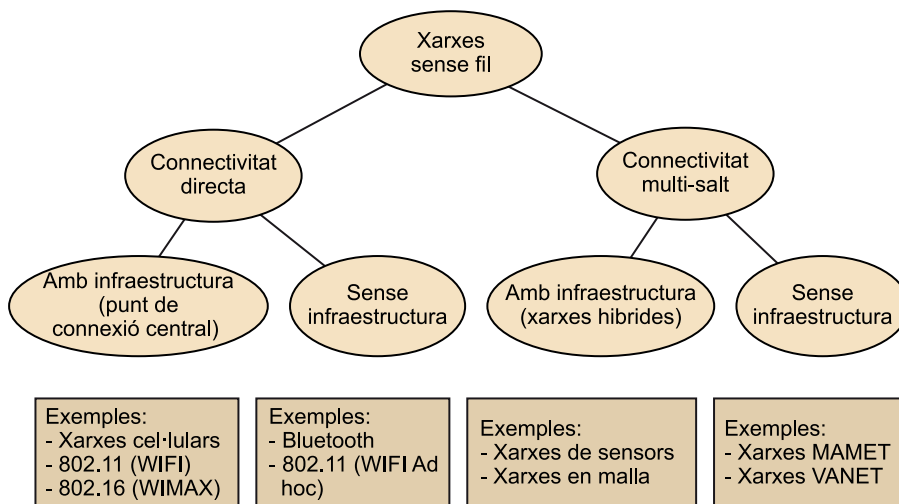
Les xarxes MANET (*Mobile Ad-hoc Network*) són el tipus més usual de xarxes *ad hoc* en la quals els nodes són mòbils i tenen una connexió sense fil.

Una xarxa *ad hoc* és una xarxa sense fil descentralitzada. Els nodes es comuniquen l'un amb l'altre sense l'existència d'una estructura preexistent. La xarxa es forma de manera autònoma amb els terminals finals dels usuaris (ordinadors portàtils, tauletes, telèfons mòbils, etc.), els quals tenen una naturalesa molt heterogènia i per tant diferents capacitats de processament, memòria, o

potència. Cada node està preparat per a reenviar dades a la resta i la decisió sobre quins nodes reenvien la informació es pren de manera dinàmica en funció de la connectivitat i els recursos de cada terminal.

Això contrasta amb les xarxes tradicionals en les quals els encaminadors porten a terme aquestes funcions. També difereix de les xarxes sense fil en les quals hi ha un node central, el punt d'accés, que gestiona les comunicacions amb la resta de nodes. La figura 2 mostra una classificació de les xarxes sense fil i indica que les xarxes *ad hoc* són sempre xarxes sense infraestructura.

Figura 2. Topologia de xarxes sense fil



Les xarxes *ad hoc* pioneres van ser les PRNET dels anys 70, promogudes per l'agència DARPA, del Departament de defensa dels Estats Units. La naturalesa descentralitzada de les xarxes *ad hoc* fa que siguin molt adequades per a situacions en les quals no es pot confiar en un node central. Per exemple, en situacions de desastres naturals o en conflictes bèl·lics.

L'objectiu de les xarxes *ad hoc* és que requereixin molt poca configuració i que per tant el seu desplegament pugui ser molt ràpid. A més, els protocols d'encaminament que utilitzen són dinàmics i permeten que la Xarxa sigui operativa en un temps reduït.

Aplicacions de les xarxes *ad hoc*:

- Xarxes d'àrea personal (PAN): interconnexió de tots els equips personals com són el telèfon mòbil el portàtil, l'agenda electrònica, els equips domèstics de casa, etc.
- Entorn militars: soldats, avions, tancs, etc.
- Entorns ciutadans: construcció de xarxes de taxis, connectivitat en sales de reunions, estadis esportius, vaixells, avionetes, etc.

- Operacions d'emergència: operacions de cerca i rescat de persones, connectivitat de grups com la policia, bombers, etc.
- Missions d'exploració espacial.

Les característiques de les xarxes *ad hoc* impedeixen que puguin utilitzar els protocols d'encaminament dissenyats per les xarxes tradicionals (ja siguin cablejades o sense fil). És necessari superar problemes com la topologia dinàmica, i la limitació de recursos com l'amplada de banda, la bateria, i la capacitat de processament.

Un dels problemes principals de les xarxes *ad hoc* és l'autoconfiguració inicial de la xarxa, i el disseny de protocols d'encaminament que s'adaptin en tot moment a la topologia canviant de la xarxa.

Segons el seu disseny, els protocols d'encaminament es poden dividir en dos grups:

**1) Protocols proactius:** cerquen rutes periòdicament per tal que quan un node vulgui enviar un missatge la ruta estigui apunt i es pugui enviar en temps real. Són útils per a xarxes molt sensibles als retards i en les quals hi ha molt trànsit de dades.

El protocol que l'IETF està estandarditzant dins d'aquest grup és l'OLSR (*On-demand Link State Routing*).

**2) Protocols reactius:** cerquen i mantenen les rutes només si és necessari, és a dir, quan un node ho sol·licita perquè vol enviar algun missatge. Aquests protocols són adequats per a xarxes que no necessiten temps real i que no tenen un trànsit alt i sostingut de paquets entre els nodes. En aquest escenari, es tracta de protocols molt eficients i que carreguen poc el sistema.

El protocol que l'IETF està estandarditzant dins d'aquest grup és el AODV (*Ad Hoc On-demand Distance Vector*).

Com que en les xarxes *ad hoc* no hi ha un node central que faci les tasques de coordinació, és molt important la cooperació de tots els nodes de la xarxa per tal que aquesta funcioni. D'una banda és interessant la implementació de protocols que permetin escollir un node que faci de coordinador de la resta i que aquest node sigui temporal i elegit segons les característiques contextuais de la xarxa en un determinat període de temps. D'altra banda, s'han de trobar mecanismes que fomentin la cooperació entre components i que permetin distribuir el control de la xarxa entre tots els nodes que en formen part.

Els principals models de xarxes *ad hoc* són dos: les MANET i les VANET.

## MANET

Les *Mobile Ad hoc Networks* (MANET) són xarxes formades per nodes mòbils. Es comuniquen sense cables i ho fan de manera ad hoc, és a dir, es crea una topologia espontània de xarxa que va canviant dinàmicament a mesura que entren i surten nodes de la xarxa, i a mesura que aquests es mouen de posició i per tant perden i guanyen connectivitat amb altres nodes.

A diferència de les xarxes sense fil convencionals, en les MANET la comunicació entre nodes és multisalt. L'objectiu d'aquestes xarxes és trobar una ruta entre dos nodes remots i que aquesta es pugui establir amb la col·laboració dels nodes intermedis implicats.

## VANET

Les *Vehicular Ad hoc Networks* (VANET) es poden considerar un cas particular de xarxes *ad hoc* en la qual hi ha dos tipus de nodes: estàtics i mòbils.

- Els nodes estàtics són elements fixos emplaçats al llarg de les vies de transport (carreteres, autopistes, vies fèrries, etc.) i s'anomenen *RSU* (Road-Side Unit). La seva funció és enviar, rebre i retransmetre paquets per a augmentar el rang de cobertura d'una xarxa; poden oferir també accés a Internet.
- Els nodes mòbils són vehicles equipats amb un dispositiu electrònic anomenat *OBU* (*On Board Unit*) per a poder comunicar-se amb altres vehicles i amb les *RSU*. Aquests tipus de nodes tenen la capacitat per a enviar, rebre i retransmetre missatges entre ells (*Vehicle-to-Vehicle*, *V2V*) o sostenir-se en nodes estàtics (*Vehicle-To-Infrastructure*, *V2I*).

Les VANET es diferencien d'una MANET estàndard en el fet que els nodes mòbils es mouen molt ràpidament, i que la informació que s'envia a través de la xarxa té uns requisits *broadcast* (la informació ha d'arribar a tothom) i d'immediatesa (les comunicacions en temps real són un requisit important) més estrictes. D'altra banda, la xarxa pot estar suportada per elements fixes i que formin part d'una infraestructura més àmplia (per exemple, connexió a Internet), i els nodes mòbils es desplacen a través d'unes rutes limitades i predictibles.

Aquestes diferències fan que els dos tipus de xarxes utilitzin protocols lleugerament diferents.

### 1.4.2. Xarxes de sensors

Les xarxes de sensors són xarxes formades per un grup de sensors amb certes capacitats sensibles i de comunicació sense fil els quals permeten formar xarxes ad hoc sense infraestructura física preestablerta ni administració central.

Una xarxa de sensors típicament consisteix en una gran quantitat de dispositius ràdio de baixa potència i baix cost, que es dediquen a funcions molt específiques com la recollida de dades ambientals i l'enviament a nodes que en fan el procés. Les xarxes de sensors es diferencien de les xarxes *ad hoc* en el fet que tenen una densitat molt més gran, hi ha molts més nodes (poden ser xarxes de milers de nodes), els terminals tenen més limitacions, i en general no es tracta de xarxes mòbils. Com les xarxes *ad hoc*, es tracta de xarxes dinàmiques (la topologia de la xarxa va variant per l'entrada i la sortida de terminals que se'ls acaba la bateria o s'espatllen per algun motiu), es formen de manera autònoma, i els nodes poden tenir diferents característiques i limitacions.

Les xarxes *ad hoc* i de sensors comparteixen moltes característiques. Tanmateix, hi ha algunes subtils diferències que les fan úniques, i que s'han de tenir en compte a l'hora de dissenyar protocols per a aquestes xarxes. Les diferències les podem discutir en les categories següents:

- **Quantitat:** el nombre de nodes en les xarxes de sensors pot ser alguns ordres de magnitud per sobre de les xarxes *ad hoc*. A més a més, la densitat de nodes en les xarxes de sensors també és molt més elevada.
- **Topologia:** a causa de les severes limitacions de recursos en les xarxes de sensors i de les condicions ambientals que han de suportar, la topologia d'aquestes xarxes pot canviar molt freqüentment.
- **Comunicacions:** les xarxes de sensors típicament utilitzen comunicacions en *broadcast*, mentre que en les xarxes *ad hoc* les comunicacions són punt a punt.
- **Nodes:** són molt més propensos a tenir fallades. Addicionalment, els sensors tenen més limitacions de potència, memòria i capacitat de càlcul que els terminals que s'utilitzen en xarxes *ad hoc*.

Les xarxes *ad hoc* i les xarxes de sensors estan ben posicionades per a esdevenir un dels principals motors de les xarxes ubicuës. Tenen els requisits per a poder funcionar en situacions crítiques com ara desastres naturals (on la infraestructura preexistent pot ser destruïda). Una altra àrea de gran interès és la de les aplicacions militars, que requereixen arquitectures autònomes i dinàmiques que es formin en funció de com es vagin desenvolupant les accions.

### **1.4.3. Xarxes de ràdio cognitiva**

Actualment, en la gran majoria de països, les xarxes i les aplicacions sense fil estan regulades mitjançant una política d'assignació de l'espectre fix. L'espectre està regulat per l'Estat, que administra i assigna la utilització de les diferents bandes de freqüència a diferents empreses, usuaris i/o serveis mitjançant una autorització, permís a llicència a llarg termini en àmplies zones geogràfiques. Cada país té un quadre nacional d'atribució de bandes de freqüències, con-

forme al que es va acordar en les Conferències Mundials de Radiocomunicacions de la Unió Internacional de Telecomunicacions (ITU). Només una part de l'espectre es pot usar lliurement, i aquestes bandes lliures estan cada dia més sobrecarregades. Per contra, l'ús d'altres bandes freqüencials no supera el 15%. Així doncs, tal com han demostrat estudis recents portats a terme per la FCC<sup>1</sup> (Federal Communications Commission) el repartiment actual de l'espectre és ineficient.

<sup>(1)</sup>FCC (nov. 2002). "Spectrum Policy Task Force Report". *ET Docket* (núm. 02-155).

Les xarxes de ràdio cognitiva (*Cognitive Radio Networks* - CRN) estan sorgint com una tecnologia clau per a portar a terme una gestió més òptima de l'amplada de banda disponible. Un dispositiu de ràdio cognitiva és un sistema de radiofreqüència capaç de variar els seus paràmetres de comunicació basant-se en la seva interacció amb l'entorn en el qual opera. Les tres característiques principals d'un dispositiu d'aquest tipus són:

- 1) Capacitat d'escoltar l'ús que es fa de l'espectre (en anglès *sensing*), és a dir, de captura la informació del seu entorn de radiofreqüència i identificar les parts de l'espectre que no estan essent utilitzades.
- 2) Capacitat de processar la informació capturada, prendre consciència de l'entorn, així com de les capacitats i recursos propis.
- 3) Capacitat de variar de manera dinàmica diversos paràmetres relacionats amb la transmissió i la recepció (freqüència, potència, modulació, etc.) d'acord amb el seu entorn.

A criteri de la FCC, un dispositiu de ràdio cognitiva hauria de poder reconfigurar els paràmetres següents:

- Sistemes de comunicació: operar a través de diferents sistemes.
- Modulació: seleccionar el tipus de modulació adequada segons les característiques del canal i els requeriments de l'usuari.
- Freqüència de la portadora: seleccionar la freqüència portadora més adequada segons la informació sobre l'espectre radioelèctric disponible i el tipus de transmissió a realitzar.
- Potència transmesa: si les característiques del medi permeten una reducció de la potència transmesa, el dispositiu l'hauria de reduir fins a un cert nivell de manera que continués mantenint la qualitat de la transmissió però, a la vegada, permetés augmentar el nombre d'usuaris que comparteixen aquesta porció de l'espectre, reduint les interferències entre ells.

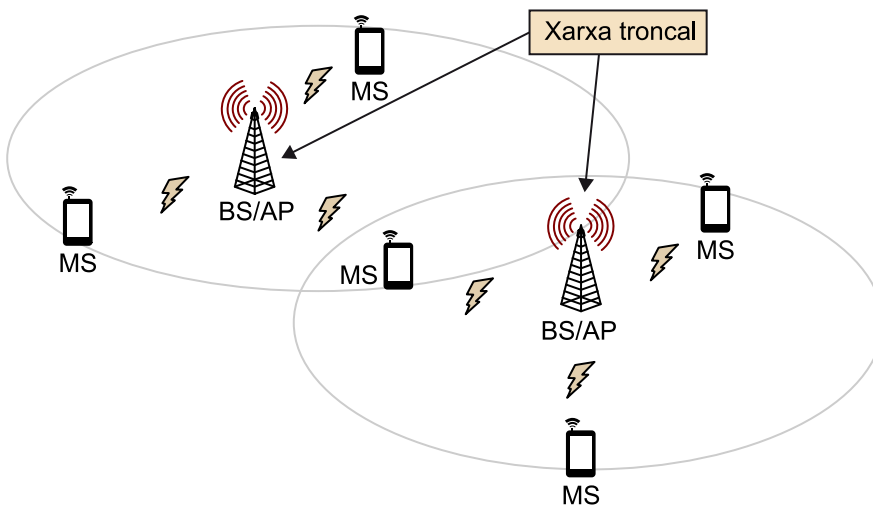
Les CRN estan formades per dispositius de ràdio cognitiva que operen amb tècniques de compartició de l'espectre basades en l'oportunitat (*Opportunistic Spectrum Sharing* - OSS). Això permet als usuaris compartir l'espectre de manera més eficient tot evitant col·lisions tant amb serveis llicenciats –televisió, telefonia mòbil, etc.–, com amb altres usuaris sense llicència que vulguin aprofitar l'amplada de banda lliure de la xarxa. Les entitats i usuaris que ofereixen o consumeixen serveis amb llicència són denominats *usuaris primaris* ja que

tenen prioritat d'ús de la xarxa, mentre que els usuaris i entitats sense llicència es coneixen com a *usuaris de ràdio cognitiva* o *usuaris secundaris* i només poden operar quan s'han assegurat totalment que no interferiran cap usuari primari.

Els components bàsics d'una CRN són les estacions mòbils (Mobile station, MS), l'estació base o punt d'accés (*Base station / Access point* - BS/AP), i les xarxes troncales. Segons les funcionalitats d'aquests components, les CRN es poden desplegar en una arquitectura centralitzada i basada en infraestructura, *ad hoc* o en malla.

**a) Infraestructura.** Les estacions mòbils accedeixen a l'estació base a través d'una connexió directa, amb un únic salt (vegeu la figura 3). Les estacions base que estan en el rang de transmissió de l'estació base es comuniquen entre elles a través d'aquesta estació base. Les comunicacions entre diferents cel·les s'encaminen a través de les xarxes troncales. L'estació base pot ser capaç d'executar un o múltiples protocols de comunicacions per a cobrir les necessitats de les estacions mòbils de la seva zona. Un terminal de ràdio cognitiva també pot accedir a diferents sistemes de comunicacions a través de la seva estació base.

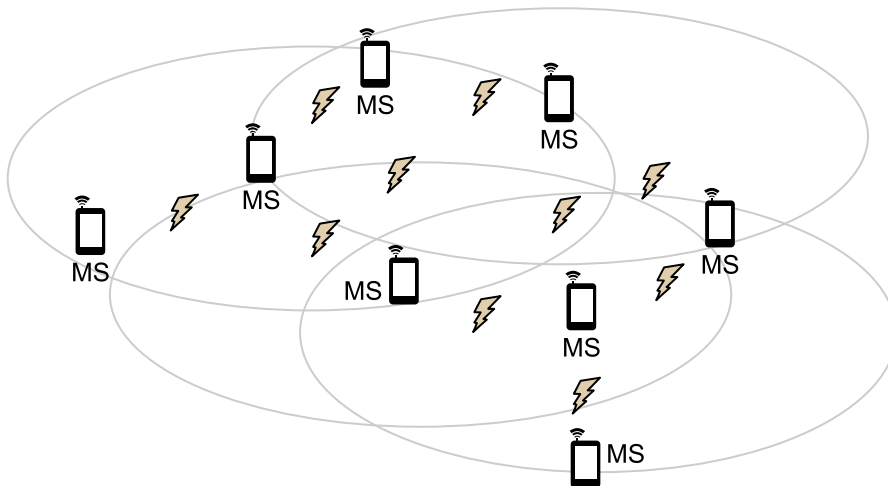
Figura 3. Arquitectura en infraestructura



**b) Ad hoc.** No hi ha una infraestructura de suport, es tracta d'una arquitectura distribuïda en la qual no hi ha estacions base (vegeu la figura 4). Si una estació mòbil reconeix que hi ha altres estacions mòbils al seu voltant i es poden connectar a través de certs protocols de comunicacions, es pot establir entre elles un enllaç i formar d'aquesta manera una xarxa *ad hoc*. Els enllaços entre els nodes poden pertànyer a diferents tecnologies i protocols de comunicacions (Wi-Fi, Bluetooth, etc.) i poden anar canviant dinàmicament segons els forats de l'espectre.

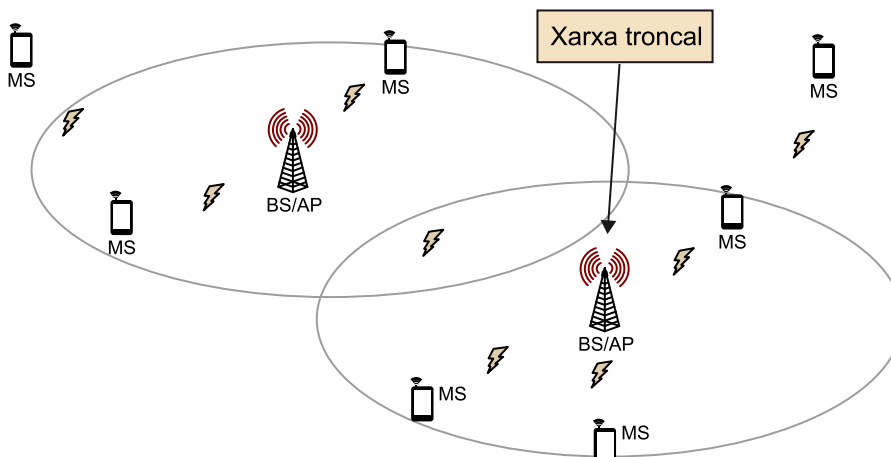


Figura 4. Arquitectura Ad hoc



c) **Malla.** Aquesta arquitectura és una combinació entre les dues anteriors (vegeu la figura 5). Les estacions base treballen com a encaminadors i formen una xarxa troncal sense fil. Entre elles es connecten a través de ràdio cognitiva. Les estacions mòbils poden accedir directament a les estacions base o poden connectar-s'hi a través d'altres estacions mòbils. Algunes estacions base es poden connectar a una xarxa troncal cablejada i funcionar com passarel·les per a donar accés, per exemple, a Internet.

Figura 5. Arquitectura en malla



Actualment, l'estàndard de ràdio cognitiva que s'està desenvolupant és l'IEEE 802.22<sup>2</sup> WRAN que té com a principal objectiu proporcionar accés a Internet utilitzant l'espectre assignat a les bandes UHF/VHF de sistemes de televisió (entre 54 MHz i 862 MHz) i a sistemes de transmissió per micròfons. És per aquest motiu que molts dels treballs que estan començant a sortir relacionats amb la ràdio cognitiva s'han centrat en l'estudi de senyals de TV digital l'amplada de banda dels quals és 6 MHz, i en senyals de modulació AM utilitzada en els micròfons sense fil amb amplada de banda de 200 KHz.

<sup>(2)</sup>El grup de treball IEEE 802.22 es va formar el 2004.

L'estàndard IEEE 802.22 especifica els llindars per a desocupar un canal davant la presència dels senyals següents:

- Televisió digital: -116 dBm sobre un canal de 6 MHz
- Televisió analògica (NTSC): -94 dBm en el pic de la portadora
- Micròfons sense fil: -107 dBm en un amplada de banda de 200 kHz

L'IEEE 802.22 especifica una arquitectura basada en infraestructura. Cada estació base és fixa i controla la seva cel·la i els usuaris que hi són presents, i és la que s'encarrega de realitzar el *sensing* de l'espectre i dóna instruccions a les estacions mòbils perquè prenguin les mesures necessàries.

## 1.5. Internet de les coses

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

La Internet de les coses és possible gràcies a l'abaratiment dels processadors, de les memòries, a l'encongment de les dimensions dels sensors i actuadors, i evidentment a les millores en les capacitats de connexió a la xarxa. El canvi de 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 ubiqa real.

### IPv6

L'IPv6 assegura que podríem assignar una adreça IPv6 a cada àtom de la superfície de la terra i tot i així tenir prou adreces per a assignar als àtoms d'unes cent terres més.

Hi ha tres components essencials de la Internet de les coses:

- 1) Necessitat de dispositius molt lleugers i barats, i d'altres de grans prestacions.
- 2) Connectivitat escalable: Un dels reptes més importants és aconseguir connectivitat de baix cost per a direccionar no tan sols el creixement exponencial de nodes de la xarxa, sinó també per a 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 molts dispositius treballant plegats.

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

Podem resumir les diferències més importants en els punts següents:

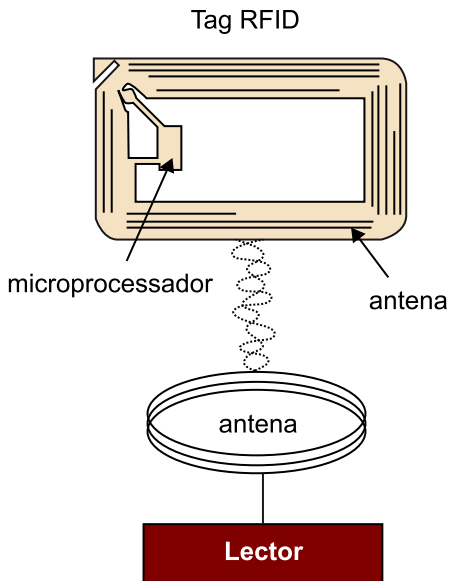
- El maquinari és gairebé invisible i té una fracció molt petita de les funcions que pot tenir el maquinari tradicional d'Internet (servidors, estacions de treball, portàtils o mòbils).
- Bilions de nodes connectats en comparació dels mil de milions que pot tenir Internet.
- Els volums de dades que envien/reben els dispositius és petit (encara que els poden rebre amb freqüència), a diferència del que passa a Internet on les xarxes d'accés han hagut d'anar augmentant la seva amplada de banda per a poder portar banda ampla a les llars.
- Sistemes centrats en la màquina en lloc de en l'usuari. La gran majoria del serveis d'Internet estan destinats a usuaris humans (web, mail, compartició de fitxers, telefonia, etc.), mentre que els atributs de la IoT gairebé exclouen als humans de cap intervenció directe.
- 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 a poder compartir dades. En la IoT la importància rau en què els objectes i els llocs generin dades automàticament, i que aquestes permetin detectar, alertar i modificar els paràmetres de l'entorn.

La Internet de les coses abraça nombroses tecnologies i disciplines de recerca per a permetre que Internet arribi en el món real dels objectes físics, com ara la identificació d'objectes, les comunicacions sense fil de curt abast (*Near Field Communications* - NFC), la geolocalització de nodes en temps real, o l'obtenció de dades per mitjà de xarxes de sensors. En la Internet de les coses els objectes es poden comunicar automàticament entre ells i amb Internet. Un dels components principals de la IoT és la tecnologia d'identificació per ràdio freqüència (*Radio Frequency IDentification* - RFID) que permet que les "coses" estiguin enllaçades amb la seva identitat virtual d'Internet.

### **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 manera única. El lector s'utilitza per a llegir les dades guardades en els *tags* RFID o per a afegir-hi nova informació. Per a la transmissió dels senyals de ràdio freqüència entre el lector i el *tag*, es fan servir antenes.

Figura 6. Sistema RFID



Els *tags* RFID contenen un identificador únic d'objecte que es pot llegir de manera 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 funcionalitats addicionals i més autonomia als objectes.

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 ells (per exemple, xarxa de sensors) o bé actuar de manera aïllada. En qualsevol cas, un cop han recol·lectat la informació, l'han de passar a una passarel·la de comunicacions a través de RFID.
- La capa de xarxa inclou diferents tipus de passarel·les cablejades o sense fil, xarxes d'accés i xarxes troncales, i principalment fa la transmissió, l'encaminament i el control entre les capes d'informació i d'aplicacions. La capa de xarxa es pot implementar a través de 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.

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

- Sistemes màquina-màquina (*Machine to Machine* - M2M). L'ETSI (European Telecommunications Standards Institute) té un comitè tècnic per a definir

solucions eficients per a les comunicacions M2M basant-se en els estàndards d'Internet i les tecnologies cel·lulars.

- Ciutats intel·ligents (*smart cities*).

### 1.5.1. Comunicacions màquina-màquina (M2M)

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

Les propietats de les aplicacions M2M són:

- Gran nombre de dispositius. Les aplicacions típiques involucren molts terminals concentrats en una àrea (això provoca una gran densitat de dispositius), o just el contrari, molts dispositius distants i molts espais.
- 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 habilita la seva integració en els processos empresarials. Per exemple:

- Sistemes de *vending*. Permet gestionar i optimitzar la reposició dels productes segons el consum. També permet telecontrolar diversos ajustos de les màquines expendedores.
- Lectura de comptadors. Permet conèixer la demanda energètica en temps real, i en funció d'aquesta 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 evitant que els malalts s'hagin de desplaçar a l'hospital. Segons l'anàlisi de les dades es poden generar alarmes i planificar cites per al seguiment de l'evolució del pacient.

#### Smartgrid

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

- Automoció. Aplicacions que permeten la localització del vehicle i interactuar amb algunes de les seves funcionalitats (vegeu VANET a l'apartat 1.4.1).
- Control d'accés. Alarmes per a vigilar habitatges i empreses. En aquest cas el mateix canal de comunicacions que envia la informació és monitorat i tractat com un element clau en la seguretat.
- Sistemes de domòtica, per exemple, per a controlar l'eficiència energètica de la llar engegant i parant la calefacció quan convé.
- Gestió de flotes. Serveis per a conèixer i monitorar l'estat d'un vehicle i de la seva càrrega segons un conjunt de sensors que mesuren la pressió, temperatura, impactes, integritat, etc.

L'M2M representa un futur en què 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.

### **1.5.2. Smart cities**

Les *smart 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 a un model de gestió de les infraestructures urbanes automàtica i eficient. El principal avantatge és que amb ells s'aconsegueix una reducció de les despeses i s'ofereix una millora en la diversitat i qualitat dels serveis.

Els serveis d'una *smart city* són diversos, intentant sempre oferir serveis compromesos amb l'entorn i per als quals hi ha una demanda manifesta. Alguns d'ells són:

a) Millorar el trànsit per mitjà de diferents accions:

- Fer una anàlisi dels fluxos de trànsit donant prioritat al transport d'emergències i al transport públic.
- Detectar automàticament les infraccions del codi de circulació i els perills en les carreteres, i informar dels accidents produïts als pròxims vehicles mitjançant els senyals adequats.
- Desenvolupar models matemàtics i simulacions per a poder comparar diferents vies de circulació i escenaris de transport i 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 a través de 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 compartir bicicletes, cotxes, la informació sobre llocs lliures on aparcar, etc.
  
- c)** Implantar eines per a l'e-governança i la participació ciutadana, per exemple, per mitjà d'enquestes en línia per a conèixer l'opinió dels ciutadans o l'execució de votacions electròniques.
  
- d)** Conservar el medi ambient per mitjà de sensors que controlin la contaminació de l'aire i de l'aigua, i permetin l'aplicació de polítiques verdes.
  
- e)** Implantar models logístics eficients: encaminament de vehicles, gestió de la recollida d'escombraries, neteja dels carrers, etc.
  
- f)** Millorar els serveis a l'Administració: disminució de les cues i els temps d'espera en les oficines municipals, centres de salut, etc.
  
- g)** Aplicar mesures d'eficiència i gestió energètica: autogeneració i emmagatzemament de l'energia d'origen renovable, gestió intel·ligent de la distribució d'energia (smart green), gestió eficient de l'ús final de l'energia.

Altres aplicacions de la IoT relacionades amb les ciutats intel·ligents són les 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, rec, il·luminació, etc.) que es poden controlar remotament per mitjà 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 un pas endavant d'acord amb les preferències i necessitats de l'usuari, proporcionant-li eficiència, confort i comoditat.

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 monitoren l'entorn de la comunitat des de diferents aspectes i donen serveis com ara alertes i accions automàtiques encarades a la seguretat de la llar, serveis d'ajuda davant emergències, manteniment de la qualitat de salut, etc.

## 2. Xarxes d'accés de nova generació

Les xarxes de coure han estat la base de les telecomunicacions en els últims 100 anys. En l'actualitat aquestes xarxes es comencen a substituir per xarxes de fibra òptica que permeten una dràstica millora en les seves prestacions, aconseguint velocitats d'accés de més de 100 Mbps. Això comporta un efecte molt important sobre l'economia en el seu conjunt, fonamentalment per quatre raons:

1) **Noves aplicacions.** L'augment de l'amplada de banda permet l'aparició de noves aplicacions en la indústria de l'oci i dels continguts audiovisuals. S'obren possibilitats per a totes les aplicacions Internet (P2P, jocs en línia, etc.) i nous serveis multimèdia com HDTV sota demanda. En l'àmbit públic, es fomenten les aplicacions en el sector educatiu (e-learning) i en el sanitari (e-health, especialment telemedicina). Quant a la telemedicina, les xarxes de nova generació obren la possibilitat de realitzar consultes mèdiques, diagnòstics i monitoratge dels pacients a distància. Aquestes aplicacions poden ser especialment rellevants per a persones amb mobilitat reduïda o que viuen en zones allunyades dels centres amb tecnologia de punta.

2) **Impacte en la productivitat i la capacitat d'innovació.** Les xarxes d'accés de nova generació fomenten el teletreball, la computació en el núvol i les teleconferències, reduint les barreres geogràfiques i els costos de transport.

3) **Augment de l'activitat econòmica.** La inversió en infraestructures de telecomunicacions és comparativament més atractiva que les inversions en altres tipus d'infraestructures. Pot tenir efectes marginals més forts en l'oferta i la productivitat d'una zona que fer millores en les xarxes de serveis públics ja existents (OCDE, 2009).

4) **Canvis en l'estructura del sector de les comunicacions.** Les operadores tradicionals de telecomunicacions caldrà que s'adaptin per a mantenir la posició de lideratge en el mercat. S'ha de tenir en compte la descentralització i viabilitat de les xarxes petites, la separació estructural, la intervenció pública i l'impacte dels mercats en línia.

La definició de xarxes d'accés de nova generació normalment va lligada a la inversió en fibra en el bucle d'abonat. Encara que les xarxes d'accés de nova generació tendeixen a referir-se al desplegament d'aquesta tecnologia en concret, hi ha moltes altres tecnologies que poden competir i proporcionar alguns dels serveis que estan previstos per les NGN. També hi ha altres tecnologies que potser no poden competir totalment amb les xarxes d'accés de nova generació en termes de capacitat i el ventall de serveis que les NGN poden proporcionar, però poden anar perfectament bé per a usuaris que no necessiten



una capacitat d'accés més alta. Les diferents tecnologies disponibles inclouen les xarxes de coure actualitzades a DSL, les xarxes de cable coaxial, les comunicacions a través de la xarxa elèctrica, les xarxes sense fil d'alta velocitat, o els desplegaments híbrids d'aquestes tecnologies. Tot i que la fibra, en concret el desplegament de fibra punt a punt, es descriu com la prova més rellevant de les tecnologies de xarxes del futur per a proporcionar accés a l'NGN, segurament hi haurà un elevat nombre d'alternatives i d'opcions complementàries.

## 2.1. Tecnologies cablejades

La constant evolució tecnològica en l'àmbit de les comunicacions i la informació ha permès oferir increments en les velocitats de connexió a Internet, amb el consegüent desenvolupament de continguts i aplicacions que utilitzen al mateix temps cada vegada més amplada de banda. Les tecnologies xDSL han aprofitat al màxim la capacitat de les xarxes tradicionals de coure per a oferir velocitats de fins a 30 Mbps, al mateix temps que les xarxes de cable han anat millorant per a 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 sobre les xarxes tradicionals.

No hi ha una definició única de les xarxes d'accés de nova generació. La Comissió Europea les defineix així:

“Les xarxes d'accés cablejades consisteixen totalment o parcialment en elements òptics que són capaços de prestar serveis d'accés de banda ampla amb característiques millorades en comparació dels serveis prestats a través de les xarxes de coure existents.”

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

### 2.1.1. El parell de coure

El parell de coure tradicional usat en l'XTC té una capacitat de transport d'informació i una amplada de banda insuficients per a les xarxes de nova generació. Tanmateix, la seva capacitat es pot incrementar utilitzant les tecnologies d'accés xDSL (*Digital Subscriber Line*). La veu humana utilitza normalment freqüències entre 0 i 4 KHz. El sistema xDSL aprofita la capacitat de la línia per a transmetre dades en una banda de freqüència més alta que la que s'utilitza per a transmetre la veu. L'amplada 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 dur a terme simultàniament converses telefòniques i transmissió de dades.

L'amplada de banda entregat 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<sup>3</sup> (**Asymmetric DSL**) que permetia velocitats de 8 Mbps de baixada i 1 Mbps de pujada. Posteriorment va sorgir l'ADSL2 que millorava l'eficiència utilitzant una nova codificació i modulació del senyal. ADSL permetia taxes màximes de 12 Mbps de baixada i 2 Mbps de pujada.

<sup>(3)</sup>ADSL2 utilitza codificació Trellis de 16 estats i modulació QAM amb constel·lacions d'1 bit.

### DMT (*Discret Multi Tone*)

La tècnica de modulació més utilitzada en xDSL és la DMT (*Discret Multi Tone*) estandaritzada per la ITU-T. Consisteix a dividir les bandes de freqüències en 256 subcanals anomenats *bins* de 4,3125 KHz. Cada un d'aquests subcanals és gestionat de manera independent, i així si hi ha soroll en un d'ells es deixa d'utilitzar, però se'n continua aprofitant la resta. La capacitat exacta de dades per canal depèn de la modulació.

L'estàndard ADSL2+ (ITU G.992.5) permet velocitats teòriques de 24 Mbps de baixada i 3 Mbps de pujada. La principal diferència amb ADSL2 és que duplica l'amplada de banda, passant d'1,1 MHz a 2,2 MHz. El soroll afecta de manera més significativa a ADSL2+ i només suposa una millora en l'amplada de banda per a distàncies a la central de fins a 3 km.

Una altra variant de l'ADSL és la tecnologia RADSL, que permet que la transmissió busqui de manera dinàmica quina és la màxima velocitat possible en la línia de connexió i la readapti contínuament sense que hi hagi cap desconexió. Permet arribar a velocitats descendents de 600 Kbps a 7 Mbps, i velocitats ascendents de 128 Kbps a 1 Mbps, per un bucle de 5,4 km de longitud màxima.

Complementant aquesta línia tecnològica també trobem la tecnologia VDSL<sup>4</sup> (*Veryhigh bit-rate DSL*). És 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). Per a poder aconseguir el màxim rendiment la distància a la central ha de ser de menys de 300 m.

<sup>(4)</sup>L'estàndard VDSL pot utilitzar modulació QAM/CAP o DMT. Aquesta última és la més usada.

El VDSL ha evolucionat al VDSL2, que segueix les característiques marcades per l'estàndard ITU-T G.993.2 i que permet una transmissió de dades de tipus simètric i asimètric de fins a 250 Mbps de sortida de la central. L'atenuació és molt gran respecte a la distància. Per a distàncies superiors a 1,5 km, el seu rendiment és equivalent a ADSL2+.

Taula 1. Resum principals tecnologies xDSL

Tecnologia	Estàndard	Parells de core	Modulació	Amplada de banda (Mbps)	Mode	Abast (km)
ADSL	ITU 992.1/.2	1	DMT	8	Asimètric	2,7-5
ADSL2	ITU 992.3/.4	1	QAM/DMT	12	Asimètric	1,3-5

Tecnologia	Estàndard	Parells de coure	Modulació	Amplada de banda (Mbps)	Mode	Abast (km)
ADSL2+	ITU 992.5	1	QAM/DMT	24	Asimètric	1-3
RADSL	ITU 992.3	1	DMT	7	Asimètric	5,4-8,5
VDSL	ITU 993.1	1	QAM/DMT	26-52	Sim./asim.	0,3-1
VDSL2	ITU 993.2	1	DMT	50-100	Sim./asim.	1-2

### 2.1.2. 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 tota l'amplada de banda disponible en el descens. Per a permetre el trànsit bidireccional s'utilitza per a la baixada de dades l'espectre de diversos canals anteriorment destinats a la televisió, i per a la pujada s'utilitza un amplada de banda reservada (les freqüències inferiors). L'ús d'aquestes bandes es fa segons unes especificacions anomenades DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*), la primera versió de les quals va ser aprovada el 1997. Aquests desenvolupaments estan permetent a les companyies de cable oferir serveis de veu i accés a Internet en competència amb les companyies de telecomunicacions tradicionals.

Els senyals de pujada i baixada utilitzen diferents modulacions a causa de la diferència de relació senyal / soroll de les freqüències que utilitzen cada un d'aquests canals en el cable. El mitjà de transmissió és asimètric i poc fiable, per la qual cosa s'utilitzen codis de correcció d'errors que suposen un 10% de sobrecàrrega.

La velocitat de dades que s'obté depèn de les amplades de banda assignades i de la modulació. Amb canals de 6 MHz (estàndard americà) i modulació 256-QAM la velocitat pot arribar fins als 38 Mbps, mentre que amb canals de 8 MHz (estàndard europeu) i la mateixa modulació es podria arribar als 51 Mbps. En el cas de pujada, amb un canal de 3,2 MHz i 16-QAM hi hauria disponibles 10 Mbps.

L'últim protocol aprovat del DOCSIS és el 3.0 (2006) que permet multiplexar canals (*Channel bonding*) i poden sobrepassar els 100 Mbps en ambdós sentits (160 Mbps de baixada, i 120 Mbps de pujada). A més, aquest estàndard ja suporta el IPv6 i IPTV.

La topologia d'una xarxa HFC es divideix en dues parts:

#### EuroDOCSIS

La versió europea de DOCSIS s'anomena *EuroDOCSIS*. La diferència entre les dues versions és que els canals de cable tenen una amplada de banda de 6 MHz a Amèrica (sistema NTSC) i 8 MHz a Europa (sistema PAL).

#### Modulació

DOCSIS especifica la utilització d'una modulació 64-QAM o 256-QAM per al canal de baixada, i QPSK, 16-QAM o 64-QAM per al canal de pujada.

- la primera consisteix a connectar l'usuari a un node zonal (a prop del seu habitatge de la vivenda) mitjançant cable coaxial, i
- la segona interconnecta els nodes zonals amb fibra òptica.

En la capçalera de la xarxa hi ha un equip especial anomenat CMTS (*Cable Model Termination System*) i en els habitatges dels usuaris s'hi instal·la un equip anomenat CM (*Cable Modem*). Normalment, la companyia configura el cable mòdem perquè no superi un caudal contractat.

Cada CM només es pot comunicar amb el CMTS que es comporta com un pont remot. Tots els CM d'un segment comparteixen el medi físic i els canals de dades. Les emissions del CMTS arriben a tots els CM del segment; per tant, la informació ha de viatjar xifrada.

### 2.1.3. Fibra òptica

Per a 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 alhora capaç de proporcionar els nivells de qualitat de servei adequats a cada aplicació.

La fibra òptica té unes característiques excepcionals com ara el seu petit pes i volum, el baix cost (la fibra en si mateixa), és fàcil de manejar, té un gran amplada de banda, s'han aconseguit baixes atenuacions, grans velocitats amb pocs repetidors, i a més presenta possibilitats subterrànies i submarines. És per aquests motius que la fibra òptica és un mitjà de transmissió molt interessant i en els últims anys hi ha hagut una forta implantació, fent que els preus hagin anat baixant. El que abans era un sistema exclusiu per a empreses avui en dia ja 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 fins a 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'utilitza 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 arribar a l'habitatge de l'usuari final. La velocitat pot arribar als 100 Mbps.
- FTTN (*Fibre-to-the-Node*) o FTTC (*Fibre-to-the-Cabinet*). La fibra arriba fins a un node proper a l'usuari final i després s'utilitza un 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 són dintre d'una d'aquestes categories:

- Xarxes òptiques passives (*Passive Optical Networks* - PON) que no requereixen alimentació externa per a distribuir la informació a través de la xarxa.
- Xarxes òptiques actives (*Active Optical Networks* - AON) 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 el desplegament d'una sola fibra des de la capçalera de la xarxa a partir de la qual es poden derivar un cert nombre de ramificacions (típicament fins a 32) per a donar servei als abonats.

La fibra òptica també es pot desplegar amb una arquitectura punt. Aquesta, però, requereix l'existència en la central o capçalera d'un transceptor òptic per abonat. Aquests dispositius tenen un cost elevat, per la qual cosa normalment s'utilitzen per a proporcionar accés a abonats empresarials en entorns urbans i metropolitans.

#### **2.1.4. Xarxes de potència**

La comunicació per línies de potència (*PowerLine Communications* - PLC) és un nom genèric que s'atorga a la transmissió de dades per al segment de baixa i mitja tensió de les xarxes elèctriques. Més específicament, s'anomenen sistemes de comunicació de banda ampla per a línies de potència (*Broadband 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 ja que aprofita una infraestructura ja existent en les llars.

L'energia elèctrica arriba als usuaris en forma de corrent alterna 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 a través de 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 en la mateixa xarxa elèctrica. Tanmateix, la resposta del canal és tot el contrari de la ideal: és variant en el temps depenent de la càrrega (del consum d'energia en cada moment) i té grans fluctuacions en freqüència. És a dir, és hostil i molt sorollosa. En aquestes freqüències de treball el senyal té una gran atenuació amb la distància i la funció de transferència del canal presenta esvaniments selectius.

Per tot això es fa imprescindible utilitzar sistemes de modulació molt robustos. En la primera generació de la tecnologia PLC s'utilitzaven modulacions com DSSSM (*Direct Sequence Spread Spectrum Modulation*) i GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*). DSSSM es caracteritza perquè pot operar amb una baixa densitat espectral de potència. És molt robust però té una pobra eficiència espectral i es sensible a l'esvaniment selectiu de la freqüència. GMSK optimitza l'ús de l'amplada de banda. En l'última generació de BPL la modulació més eficient que comunament s'utilitza és l'OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*). OFDM utilitza un gran número de portadores amb amplades de banda molt estretes. S'adapta bé i de manera dinàmica a les condicions del canal i és tolerant al soroll.

Actualment hi ha diversos estàndards per a sistemes BPL creats per organismes com l'ESTI, CENELEC, FCC, i l'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 primer cop 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 amplada de banda, així com mecanismes de seguretat, permetent d'aquesta manera el creixement del mercat. L'objectiu de l'estàndard és definir les capes física i d'enllaç de dades (MAC) del model de referència OSI per tal de poder desplegar xarxes amb unes taxes de transmissió de fins a 500 Mbps a distàncies de fins a 1,5 km, utilitzant freqüències de transmissió menors de 100 MHz.

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

## 2.2. Tecnologies sense fil

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

- **Xarxes d'accés d'àrea personal i domèstica.** 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.** Emergeixen de les xarxes de computadors. Ajuden l'usuari corporatiu a expandir la seva àrea de serveis utilitzant una LAN.
- **Xarxes d'accés d'àrea metropolitana.** Són xarxes sense fil de llarg abast que intenten complementar els serveis que poden donar les xarxes de *trunking* (sistemes de comunicacions mòbils privades) i les xarxes cel·lulars.
- **Les xarxes cel·lulars.** Són una evolució de la telefonia mòbil com a eines de conversa i comunicació per a usos privats i comercials.

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

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

#### Near Field Communication (NFC)

La tecnologia NFC està inclosa dins els sistemes d'identificació per radiofreqüència - RFID. Com hem vist, 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 ultraalta freqüència (UHF). La tecnologia NFC és un subconjunt dels estàndards que operen a HF, en la banda de 13,56 MHz, i està basada en l'estàndard ISO 14443, l'ISO 18092, i el FeliCa. Suporta taxes de 424 Kbps fins a 10 cm de distància. El protocol NFC no només 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.

## Ultra wideband (UWB)

La UWB és una tecnologia basada en la transmissió de polsos amb uns temps de pujada i baixada molt curts (entre algunes desenes de picosegons i pocs nanosegons). La transmissió per polsos es tradueix en el domini de la freqüència en un espectre de gran amplada de banda. El 2002 la FCC va proposar la definició dels sistemes UWB com aquells l'amplada de banda dels quals fos, com a mínim, de 1,5 GHz. Gràcies a aquesta amplada de banda els senyals UWB poden oferir altes capacitats (entre 100 i 200 Mbps) a un gran nombre d'usuaris simultanis (en poder dividir tota l'amplada de banda en diferents subbandes), en distàncies curtes (10 m) i emetent senyals de baixa potència.

## Bluetooth

Bluetooth és una especificació que defineix xarxes d'àrea personal sense fil (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 a 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 fa servir 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. La versió 2.0 de l'estàndard pot arribar a velocitats de 3 Mbps. L'abast de la xarxa depèn del tipus de dispositiu Bluetooth, i pot anar des d'1 m (dispositius amb 1 mW de potència) fins als 100 m (100 mW de potència).

## ZigBee

ZigBee és un conjunt de protocols de comunicació sense fil basats en l'estàndard IEEE 802.15.4. Va adreçat a aplicacions que requereixen comunicacions segures amb una baixa taxa de transmissió de dades i consum energètic. Es pot utilitzar per a realitzar control industrial, o per a difondre les dades que recullen sensors en aplicacions domòtiques o mèdiques.

L'estàndard treballa en la banda de 2,4 GHz, en la qual es defineixen fins a 16 canals amb rangs d'amplada de banda de 5 MHz. Utilitza modulació QPSK i permet velocitats de fins a 150 Kbps amb un abast de 75 m.

## 6LoWPAN

6LoWPAN és l'acrònim d'*IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Networks*. De la mateixa manera 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 tal de simplificar la interfase entre les xarxes de sensors i Internet. El repte és que l'estàndard IEEE

### Nota

El gran avantatge de Zigbee és el poc consum energètic, de manera que un dispositiu pot tenir una autonomia de fins a 5 anys. Per a aconseguir-ho l'estratègia és fer que els dispositius estiguin en mode adormit durant la major part del temps.



802.15.4 treballa amb paquets de 128 bytes de dades, en contra d'IPv6 que ho fa amb paquets de 1280. Així doncs, 6LoWPAN requereix una 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 en xarxes basades en IEEE 802.15.4.

### 2.2.2. Xarxes d'accés d'àrea local (LAN)

A continuació fem un breu resum de la tecnologia reina de les xarxes sense fil d'àrea local (la Wi-Fi) i presentem dues tecnologies que permeten la convergència de xarxes cel·lulars i LAN.

#### 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 unes bandes de freqüència lliures (no requereixen llicència). Actualment amb els estàndards 802.11a/b/g es pot aconseguir una alta velocitat de dades (vegeu la taula 2). No obstant això, 802.11n podrà arribar fins als 600Mbps, i juntament amb 802.11i (Qualitat de Servei), 802.11o (Roaming amb xarxes 3G), i 802.11i (Seguretat), la tecnologia podrà oferir uns bons serveis avançats a l'usuari final.

Taula 2. Característiques dels protocols IEEE 802.11 més utilitzats

Protocol	Banda ISM	Velocitat
802.11a	5,4GHz	54Mbps
802.11b	2,4GHz	11Mbps
802.11g	2,4GHz	54Mbps
802.11n	2,4 i 5,4 GHz	600Mbps

#### Xarxa d'accés genèric (GAN)

Una xarxa d'accés genèric (GAN), coneguda inicialment com a *Unlicensed Mobile Access* (UMA), és un estàndard del 3GPP que permet fer una transferència (*handover*) d'una xarxa cel·lular a una xarxa IP sense fil d'espectre no llicenciat com Bluetooth o Wi-Fi, sense talls i de manera totalment transparent per a l'usuari, tant per a la veu com per a les dades. L'objectiu és crear un terminal únic que permeti als usuaris accedir a tot el ventall de serveis de les NGN aprofitant els avantatges que ofereixen les diferents xarxes fixes i mòbils. La topologia està formada per un punt d'accés (AP) sense fil que opera en les llicències lliures de l'espectre (per exemple, Wi-Fi, Bluetooth) i un controlador de xarxa gestionat per l'operador cel·lular. El terminal d'usuari és dual (Bluetooth + GSM/UMTS) o (Wi-Fi + GSM/UMTS) i l'usuari pot realitzar les seves

comunicacions a uns costos adaptats a l'entorn des d'on s'origina la trucada i accedir a tots els serveis que té contractats aprofitant la velocitat de la xarxa a la qual està connectat.

- 1) Quan un usuari arriba a un entorn que té cobertura mitjançant AP, en detecta la seva presència i s'hi enllaça automàticament.
- 2) L'AP està connectat a una xarxa de banda ampla (per exemple, mitjançant ADSL). Per mitjà de l'AP el terminal contacta amb un controlador de xarxa per a realitzar el procés d'autenticació que permeti accedir als serveis mòbils.
- 3) Si el procés d'autenticació és satisfactori, el controlador actualitza la informació de localització de l'usuari i des d'aquest moment el trànsit mòbil és encaminat mitjançant el controlador fins a la xarxa d'accés IP.
- 4) Si durant el transcurs d'una comunicació el terminal surt de la zona de cobertura de l'AP, el terminal es connecta al controlador i aquest li facilita la transferència (*handover*) a la xarxa mòbil convencional GSM/UMTS.

Els avantatges d'utilitzar GAN per a l'usuari són reducció de costos, més amplada de banda d'accés als serveis, major comoditat en tenir tots els serveis centralitzats en un únic dispositiu. Els avantatges per a l'operador són fomentar els serveis de dades i ampliar l'àrea de cobertura de les xarxes en interiors.

### Femtocel·les

Les femtocel·les són petites ràdiobases cel·lulars que es despleguen en els interiors dels edificis i connectades a la xarxa de l'operador mòbil utilitzant la xarxa de banda ampla fixa (com ara, xDSL). La seva funció és l'encaminament de les comunicacions dels telèfons mòbils. Les motivacions d'aquesta tecnologia són dues:

- L'estalvi en sistemes de radiobases externes amb la consegüent reducció de costos i preus.
- La millora de la cobertura en interiors sense augmentar les inversions en radiobases.

A diferència dels sistemes GAN, les femtocel·les no requereixen que l'usuari disposi de cap terminal especial amb tecnologia dual. Són compatibles amb els mòbils cel·lulars estàndard i permeten que l'usuari gaudeixi d'una millor amplada de banda a un cost reduït comparat amb les prestacions de les xarxes cel·lulars.

El desplegament de femtocel·les avui dia és escàs, però ha adquirit molta notorietat amb el llançament de la quarta generació de telefonia cel·lular LTE.

### 2.2.3. 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 fil IEEE 802.16. Aquest estàndard es va desenvolupar per a proporcionar una xarxa sense fil fixa d'accés metropolitana, constituint per tant una alternativa al cable o DSL i essent econòmicament més atractiva en proporcionar accés en zones rurals o de difícil orografia.

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

Entre altres, WiMAX proveeix:

- Abast de fins a 30 km en línia de visió directa, i uns 3-5 km en zones urbanes.
- Taxa de transferència d'entre 32 i 134 Mbps, segons la distància i condicions QoS.
- Mobilitat del terminal d'usuari de fins a 120 km/h (si s'utilitza almenys 802.16i).
- Roaming entre estacions base menor que 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:

1) **Entorn fix.** S'estableix un enllaç ràdio entre l'estació base i l'usuari final. Les velocitats teòriques màximes que es poden obtenir són 134 Mbps amb visió directa i modulació 64 QAM, o bé 75 Mbps sense visió directa i modulació OFDM (*Orthogonal Frequency - Division Multiplexing*).

2) **Entorn mòbil.** Presenta mobilitat completa que permet el desplaçament de l'usuari d'una manera similar al que es pot donar en GSM/UMTS. Presenta un abast de fins a 80 km amb antenes molt direccionals i d'alt guany, amb velocitats de fins a 75 Mbps (la meitat de pujada i l'altra de baixada). Utilitza modulació SOFDMA (*Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Ac-*

### Nota

En situacions experimentals de WiMAX en entorn fix s'han aconseguit velocitats de 40 Mbps amb radis de cel·la de fins a 10 km, amplada de banda que és compartit per tots els usuaris de la cel·la.

cess) que permet fins a 2.048 subportadores amb canal d'amplada de banda entre 1,25 i 20 MHz. Aquest entorn d'operació WiMAX encara no està del tot desenvolupat.

WiMAX estableix diferents opcions de capa física, permetent solucions que requereixen visió directa amb l'estació base i d'altres que no. Si bé l'estàndard permet el seu ús en un ampli rang de freqüències (fins als 66 GHz), els perfils que hi ha actualment en el 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.

#### 2.2.4. Xarxes cel·lulars

Les xarxes cel·lulars que estan pensades per a suportar NGN són les de quarta generació. En aquest apartat fem un breu resum de l'evolució de les xarxes cel·lulars des dels seu origen fins a explicar les característiques del 4G.

El sistema de **primera generació**, o 1G, es comença a desenvolupar al final dels anys 70 i principi dels 80. 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 a través de la commutació de circuits i utilitza la modulació GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*), 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 la velocitat de 9,6 Kbps.

La **tecnologia 2.5G** és un pas intermedi entre 2G i 3G. La xarxa 2.5G corre a través del mateix espectre que la xarxa 2G i són compatibles entre elles. 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 GSM per a la connexió a Internet ja que l'establiment de connexió és molt ràpid, inferior al segon. Un altre avantatge de la commutació de paquets és que els recursos només s'ocupen quan es transmet o rep informació i per tant la tarificació ja no és per temps sinó per dades. Això fa possible que neixin més aplicacions adaptades per al dispositiu mòbil, com ara la descàrrega d'arxius, la creació de mòbils amb càmera digital, etc.

#### 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.

La velocitat de transferència de GPRS és variable i depèn del número de *slots* (interval·ls de temps) que s'utilitzin per a la transmissió de dades. Hi ha 8 *slots* i cada un té una taxa de 14 Kbps. Normalment se n'utilitzen 4 per dades (3 de baixada i 1 de pujada) obtenint una velocitat de 56 Kbps.

EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*) és una evolució de GPRS. Utilitza una tècnica de modulació millorada, el 8-Phase Shift Keying (8-PSK) que permet aconseguir velocitats mitjanes de 110-130 Kbps, i una velocitat pic 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, és a dir, ofereix aplicacions multimèdia i altes transmissions de dades. La família dels sistemes de 3G es denominen a través de les recomanacions fetes per la Unió Internacional de Telecomunicacions (ITU) per mitjà del seu conjunt d'estàndards IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*). Es defineixen tres tipus de tecnologies segons la zona geogràfica:

- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Sistema europeu que és vist com una actualització lògica de GSM, encara que els dos no són compatibles. Utilitza CDMA (Accés Múltiple per Divisió de Codi), s'executa sobre una portadora de 5 MHz d'amplada, i proporciona una transmissió de dades a altes velocitats tant per commutació de paquets (284 Kbps) com per commutació de circuits (2 Mbps).
- CDMA2000 (*Code Division Multiple Access 2000*). És un sistema de 3G basat en versions anteriors de CDMA. Ofereix les capacitats de 2.5G dins d'un únic canal de 1.25 MHz, duplicant la capacitat de veu dels sistemes CDMAOne de 2G i arribant a una velocitat de fins a 2Mbps. S'executa en un espectre entre els 800 MHz i 1.8-2.0 GHz. El CDMA2000 engloba els estàndards CDMS20001x, CDMA2000 1xEV-DO (*1x Evolution Data-Optimized*) i CDMA2000 1xEV-DV (*1x Evolution Voice/Data*).
- TD-CDMA (*Time Division CDMA*). És un estàndard 3G desenvolupat a la Xina. Es basa en CDMA però utilitza TDMA. A més, utilitza TDD en comptes de FDD. L'ús de TDMA redueix el nombre d'usuaris que competeixen per cada ranura de temps, disminuint així la complexitat tècnica del sistema encara que a expenses de la cobertura i la mobilitat. Les velocitats de dades asíncrones van des dels 1.2 Kbps fins als 2 Mbps en totes dues direccions.

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

ra que les implementacions actuals compatibles estan al voltant de 400-700 Kbps, amb ràfegues de fins a 3,6 Mbps durant curts períodes de temps utilitzant una tècnica de modulació adaptativa.

HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), qualificat com a generació 3.75, és una evolució de HSDPA que consisteix en un protocol d'accés de dades per xarxes de telefonia mòbil amb una alta taxa de transferència de pujada de fins a 5,76 Mbps.

HSPA+ (*High Speed Packet Access Evolved*) és una combinació de HSDPA i HSUPA. Si el senyal és bo modula les dades amb 64QAM i permet velocitats de pic de 28 Mbps de baixada i 11,5 Mbps de pujada. La release 8 de HSPA+ utilitza MIMO per a transmetre diversos senyals en paral·lel arribant fins als 42Mbps de baixada.

Finalment, la **quarta generació** de telefonia mòbil és definida per les recomanacions fetes per la ITU a través dels estàndards IMT-Advanced. La telefonia 4G té per objectiu la convergència de la banda ampla fixa i mòbil per mitjà de:

- 1) l'evolució de la xarxa fins a estar basada completament en tecnologia IP;
- 2) utilitzar commutació de paquets, i
- 3) 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 en la xarxa mòbil.

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

LTE permet utilitzar amplades de banda variables (de 1 fins a 20 MHz) en diverses bandes de freqüència segons el tipus de serveis que es vulgui proporcionar i la zona. L'ample ventall de freqüències amb les quals pot treballar fa que sigui 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 anomenat USIM (*Universal Subscriber Identity Mo-*

*dule*), que és utilitzat 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 fa a través d'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. Dóna 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, i això permet reduir el cost del desplegament i manteniment de la xarxa.

El futur de l'LTE és l'LTE-Avançada. Es tracta d'una tecnologia totalment compatible amb LTE que permet millorar la taxa de transferència de dades, aconseguint taxes de 100 Mbps en alta mobilitat i 1 Gbps a baixa mobilitat.

En la taula 3 es mostra un resum de les principals característiques de les tecnologies de telefonia cel·lular.

Taula 3. Telefonia cel·lular

	<b>1G</b>	<b>2G</b>	<b>2.5G</b>	<b>3G</b>	<b>3.5G</b>	<b>4G</b>
Nous serveis que aporta	Veu analògica	Veu digital	Veu + dades	Serveis multimèdia	Serveis multimèdia de banda ampla	Xarxes ubicües
Tecnologies	NMT AMPS	GSM PDC IS-95A IS-136	GPRS HSCSD EDGE IS-95B	WCDMA CDMA2000	HSPA WiMAX UMT-LTE CDMA 2000 1xEV	LTE LTE-Advanced
Característiques principals	Modulació FM Commutació de circuits	Modulació digital Control d'errors Compressió de dades Traspàs de trucades ( <i>handover</i> ) Veu d'alta qualitat	Veu + dades Majors taxes de transferència que 2G	Suport per serveis multimèdia Transmissió per paquets Capacitat més gran	Multimèdia de banda ampla Taxes de transmissió de dades d'alta velocitat Suport de QoS en banda ampla	Xarxes heterogènies Interfície de l'aire adaptativa QoS garantida Gran amplada de banda real
Modulació	FDMA	TDMA/CDMA	TDMA/CDMA	WCDMA	WCDMA/OFDMA	OFDMA
Velocitat de transmissió	2,4 kbps	9,6-28,8 kbps	57-115 kbps	0,144--2 Mbps	~10's Mbps	~100's Mbps
Període	1970/1980	1980-1990	1990	1990-2000	Actual	2017

## 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. Les xarxes de telefonia mòbil també es preveu que segueixin aquest camí, que requereix un esforç significatiu per la dimensió i la complexitat d'aquestes xarxes. Aquesta evolució es coneix com a xarxes de nova generació (NGN).

Les xarxes de nova generació representen una nova filosofia en el disseny, planificació i 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 fil. L'objectiu és crear una plataforma eficient i amb baixos costos d'operació gràcies a tenir uns sistemes de comunicació unificats.

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

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

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



## Activitats

1. Identifiqueu quines aplicacions i serveis de nova generació s'ofereixen a la vostra ciutat.
2. Enumereu les xarxes d'accés que utilitzeu habitualment i quina és la velocitat que us proporcionen. És suficient per als serveis als quals accediu?

## Glossari

- ADSL** *Asymmetric Digital Subscriber Line*. Línia de subscriptor digital asimètrica.
- CRN** *Cognitive Radio Network*. Xarxa de ràdio cognitiva.
- DSL** *Digital Subscriber Line*. Línia de subscriptor digital.
- EDGE** *Enhanced Data rates for GSM Evolution*. Tecnologia amb taxes de 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.
- MANET** *Mobile Ad hoc Network*. Xarxa mòbil *ad hoc*.
- NFC** *Near Field Communication*. Comunicacions sense fil de curt abast.
- NGN** *Next Generation Network*. Xarxa de Nova Generació.
- PAN** *Personal Area Networks*. Xarxa d'Àrea Personal.
- RFID** *Radio Frequency Identification*. Identificador per radiofreqüència.
- UMTS** *Universal Mobile Telephone System*. Sistema de telefonia mòbil universal.
- VANET** *Vehicular Ad hoc Network*. Xarxa de vehicles *ad hoc*.
- VDSL** *Very High Speed Digital Subscriber Line*. Línia de subscriptor digital a molt alta velocitat.
- WLAN** *Wireless Local Area Network*. Xarxa d'Àrea Local sense fil.
- XTC** Xarxa Telefònica Commutada.

## **Bibliografia**

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

**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.

