



**Comunicacions Mòbils de 4a Generació  
- Long Term Evolution (LTE) -**

**Víctor Buján Fernández**

**Projecte Final  
Enginyeria de Telecomunicacions  
Especialitat en Telemàtica**

**Antoni Morell Pérez  
Consultor**

# 1. Índex

1. Índex .....	2
2. <b>Introducció</b> .....	4
2.1 <u>Descripció</u> .....	4
2.2 <u>Objectius</u> .....	4
3. <b>Història de les comunicacions mòbils</b> .....	5
3.1 <u>Sistemes de Comunicació de Primera Generació (1G)</u> .....	5
3.1.1 AMPS .....	5
3.1.2 NMT .....	6
3.1.3 TACS .....	6
3.2 <u>Sistemes de Comunicació de Segona Generació (2G)</u> .....	7
3.2.1 D-AMPS .....	7
3.2.2 CDMA One .....	7
3.2.3 GSM .....	8
3.3 <u>Sistemes de Segona Generació (GPRS // 2,5G)</u> .....	9
3.4 <u>Sistemes de Segona Generació (EDGE // 2,5G)</u> .....	9
3.5 <u>Sistemes de Tercera Generació (UMTS // 3G)</u> .....	10
3.6 <u>Sistemes de Tercera Generació (HSPA // 3,5G)</u> .....	11
4. <b>Long Term Evolution (LTE) i 4G</b> .....	12
4.1 <u>LTE i les seves característiques</u> .....	12
4.2 <u>Arquitectura del LTE</u> .....	13
4.3 <u>Tecnologies físiques i pròpies del LTE</u> .....	17
4.3.1 OFDMA .....	17
4.3.2 SC-FDMA .....	18
4.3.3 MIMO .....	20
4.4 <u>Definició i factors que condicionen el 4G</u> .....	21
4.5 <u>El 4G a Espanya</u> .....	23
4.6 <u>Prova de velocitat amb Vodafone</u> .....	25
5. <b>El Futur del LTE i 4G</b> .....	28
5.1 <u>LTE Advanced</u> .....	28
5.2 <u>VoLTE</u> .....	28
5.2 <u>Sistemes de Comunicació de Cinquena Generació (5G)</u> .....	29

<b>6. <u>Tecnologies Alternatives</u></b> .....	<b>30</b>
6.1 <u>WiMax</u> .....	30
6.2 <u>CDMA200 UMB</u> .....	32
<b>7. <u>Implantació del LTE a nivell local</u></b> .....	<b>33</b>
7.1 <u>Fase de Planificació</u> .....	34
7.1.1 Qualitat de Servei (QoS) .....	34
7.1.2 Elecció de la modulació .....	36
7.1.3 Model de propagació Hocomura – Hata .....	37
7.1.4 Model de propagació COST 231 .....	38
7.1.5 Model de propagació Longley – Rice .....	40
7.2 <u>Fase de Desplegament</u> .....	41
7.2.1 Antenes LTE .....	41
7.2.2 Inici de la simulació amb Radio Mobile .....	43
7.2.3 Paràmetres de la xarxa LTE amb banda 800 MHz .....	43
7.2.4 Localització en el mapa dels membres de la xarxa LTE 800 MHz .....	47
7.2.5 Àrea de cobertura xarxa LTE 800 MHz .....	48
7.2.6 Resultats obtinguts de la simulació .....	50
7.3 <u>Fase d'Optimització</u> .....	53
7.3.1 Drive Test .....	53
7.3.2 Anàlisi de velocitat .....	56
7.3.3 Anàlisi del retard .....	56
7.3.4 Anàlisi del CS Fallback .....	56
7.3.5 Conclusions dels anàlisis .....	56
<b>8. <u>Pressupost i viabilitat econòmica</u></b> .....	<b>57</b>
<b>9. <u>Conclusions del projecte</u></b> .....	<b>58</b>
<b>10. <u>Agraïments</u></b> .....	<b>59</b>
<b>11. <u>Bibliografia</u></b> .....	<b>60</b>

## 2. Introducció

### 2.1 Descripció

És conegut per tots que la tecnologia avança a un ritme electrizant i, per això, també ho fan les comunicacions mòbils, actualment no tan destinades a l'utilització de la veu com a medi de comunicació, sinó a un clar ús de dades que va en augment segons va passant el temps i les necessitats dels usuaris així ho requereixen.

Aquesta clara necessitat d'utilitzar un volum de dades superior en diferents àmbits fa que apareguin nous estàndards amb els següents objectius :

- Velocitats d'accés i transmissió de dades més ràpides.
- Increment d'usuaris que poden utilitzar la xarxa simultàniament.
- Fàcil implantació a nivell físic de la tecnologia per part dels operadors de telecomunicacions
- Estàndards compatibles amb tecnologies anteriors i que redueixin costos.

Per tant, el projecte es basarà en Long Term Evolution, més conegut per les seves sigles LTE.

LTE es un conjunt de estàndards mòbils d'última generació desenvolupats pel 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project), associació formada per diferents grups de telecomunicacions, que va desenvolupar el GSM i UMTS. Per tant, estem davant d'una tecnologia evolutiva però nova a la vegada i anomenada de quarta generació o 4G.

### 2.2 Objectius

Els objectius del projecte són els següents :

- Conèixer la tecnologia LTE (Long Term Evolution) i les seves característiques.
- Comprendre com es realitza la implantació del LTE a nivell físic i tècnic a una petita població o sector d'una ciutat.
- Saber perquè al LTE també s'anomena 4G i estat d'aquest últim a nivell nacional.
- Conèixer com i que necessitem per utilitzar aquesta tecnologia mòbil, així com el necessari per donar servei als usuaris.
- Saber les tecnologies que foren precursors del LTE, com també conèixer les que seran funcionals en un futur pròxim.
- Comparar i diferenciar el LTE amb altres tecnologies similars com el WiMax

## 3. Història de les comunicacions mòbils

Per poder iniciar el recorregut històric de les comunicacions mòbils, primer de tot, s'ha d'entendre el significat d'un sistema de comunicació mòbil.

La definició fa referència a un sistema de comunicació que, tant el emissor com el receptor, poden estar en moviment, i per tant, és impossible la utilització de sistemes cablejats i requereix la utilització de sistemes via ràdio o inalàmbrics.

Aquests es divideixen en generacions, la primera comença pels sistemes de primera generació o 1G i finalitza en els sistemes de cinquena generació, actualment sense especificacions concretes.

### 3.1 Sistemes de Comunicació de Primera Generació (1G)

Durant la dècada dels 80, es va introduir una característica revolucionària en els sistemes de comunicació analògics, la possibilitat de comunicar-nos amb mobilitat. Aquesta característica va provocar la creació dels sistemes de comunicació mòbil de primera generació o 1G.

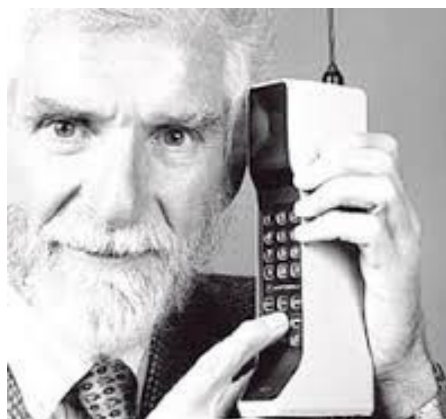
La prestació principal d'aquest sistema va ser la possibilitat d'oferir veu utilitzant la tècnica d'[Accés Múltiple per Divisió de Freqüència \(FDMA\)](#). Això suposava una limitació d'usuaris que podien utilitzar el sistema de comunicació simultàniament.

Hi ha diversos estàndards dins d'aquesta primera generació. A continuació s'esmenten els principals :

#### 3.1.1 AMPS (Advanced Mobile Phone System).

Desenvolupat pels laboratoris Bell, va ser implementat per primera vegada a l'any 1982 als Estats Units. Les característiques més importants són :

- Veu analògica
- Utilització de 832 canals dobles, 832 de simples de baixada i 832 de pujada
- Ample de banda de 30 KHz
- Banda de freqüències per als canals de transmissió : 824 MHz fins a la 849 MHz
- Banda de freqüències per als canals de recepció : 869 MHz fins als 894 MHz



**Figura 1. Martín Cooper amb un Motorola DynaTac AMPS**  
**Considerat el pare de la telefonia mòbil**

### **3.1.2 NMT (Nordic Mobile Telephone)**

El sistema de telefonia mòbil nòrdic es va crear l'any 1970 però no es va implementar per primera vegada fins a l'octubre del 1981 als països escandinaus, concretament, a Suècia, Noruega i Dinamarca.

És una tecnologia analògica i segons la freqüència tenim : NMT-450 i NMT-900

La NMT-900 és millor que la 450 ja que al utilitzar una freqüència més alta, significava la utilització de més canals i , per tant, transportava més trucades.

El èxit de la NMT va significar per a Nokia i Ericsson, l'inici del seus creixements com a empreses de telecomunicacions.



**Figura 2. Logotip de Ericsson ®**

### **3.1.3 TACS (Total Access Communications System)**

Es la versió europea del AMPS i utilitzava la banda de 900 MHz. Va ser implementat l'any 1982 i suportava itinerància.

A principis dels anys 90, a Anglaterra, va sorgir l'anomenat ETACS (*Extended Total Access System*) amb el que es va aconseguir una extensió de freqüències respecte al primer.

## 3.2 Sistemes de Comunicació de Segona Generació (2G)

La segona generació dels sistemes de comunicacions mòbils es basen en la evolució del sistema analògic a un sistema digital. Aquest aspecte va tenir com a conseqüència directa una reducció del cost, consum i potència dels dispositius.

A més a més va incloure la possibilitat de poder enviar missatges de text curts (SMS), identificació de trucades i millores substancials en el roaming, seguretat, qualitat de la veu i transmissió de dades utilitzant el protocol WAP (Wireless Access Protocol)

Va ser implementada al voltant de l'any 1990.

Dins de la segona generació de sistemes mòbils es troben tres sistemes :

### 3.2.1 Digital AMPS (D-AMPS)

El Digital AMPS o D-AMPS es va llançar l'any 1992 a Estats Units i Canadà.

Se'l coneix com TDMA (**Time Divison Multiple Access**) ja que utilitza aquesta tècnica d'accés múltiple per divisió de temps.

A part de la ja esmentada anteriorment, tenia les següents característiques :

- Utilitza la tècnica de duplexació per divisió de freqüència FDD (**Frequency Divison Duplexing**), això significava que, el transmissor i el receptor utilitzaven diferents portadores, concretament la 850 i la 1900 MHz.
- 832 canals, i cada un d'aquest suportava 3 usuaris.
- L'ample de banda del canal era de 30 KHz.

### 3.2.2 CDMA One

L'any 1992, la companyia Qualcomm® va desenvolupar un sistema de comunicacions mòbil basat en la tècnica d'accés múltiple per divisió de codi o CDMA (**Code Division Multiple Access**)

Aquesta tècnica consisteix en que tots utilitzen la mateixa freqüència al mateix temps separant les conversacions mitjançant codis.

Les característiques més importants són :

- Opera en les bandes de 800 i 1900 MHz
- És compatible amb velocitats de transmissió de dades de 14,4 Kbps

### 3.2.3 GSM (Global System for Mobile Telecommunications)



Figura 3. Logotip del GSM ®

L'estàndard GSM (Sistema Global de Telecomunicacions Mòbils) va ser desenvolupat al 1982 però implementat al 1992 a Europa. És el sistema de comunicació 2G més extès en el món.

A Europa s'utilitza les bandes de freqüència 900 i 1800 MHz, però a Estats Units s'utilitza la banda de freqüència 1900 MHz, és per aquesta raó que van sorgir els anomenats telèfons tribanda que funcionaven amb GSM tant a Europa com a Estats Units.

A continuació les principals característiques del GSM europeu :

- Banda de freqüències per als canals de transmissió : 880 MHz fins a la 915 MHz
- Banda de freqüències per als canals de recepció : 925 MHz fins als 960 MHz
- Utilitza TDMA / FDMA com a tècnica d'accés múltiple
- Mètode de duplexació utilitzat és FDD
- L'ample de banda pel radiocanal és de 200 KHz i 8 canals de tràfic per cadascun d'ells.

Una de les característiques principals de les xarxes GSM és l'utilització de les targetes SIM (Subscriber Identity Module). Aquestes targetes emmagatzemen la clau del servei de la subscripció del usuari, paràmetres de xarxa i directori de contactes.

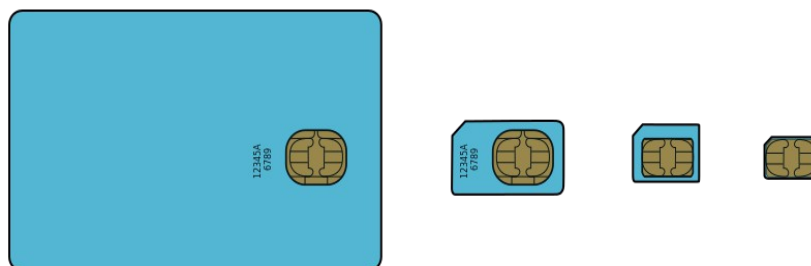


Figura 4. Evolució de la mida de les targetes SIM



### 3.3 Sistemes de Comunicació GPRS (2,5G)

GPRS son les sigles de General Packet Radio Service i és una tècnica de [conmutació de paquets](#) que va ser integrada amb l'estructura del GSM a l'any 1997.

L'objectiu bàsic del GPRS és dotar al GSM la possibilitat de transmetre dades amb un ample de banda d'entre 56 i 114 Kbps.

El GPRS és aplicable a totes aquelles transmissions de dades “a ràfegues” o discontinues com pot ser Internet o missatgeria. D'aquesta forma s'eliminava el concepte de facturació en base al temps que el usuari estava connectat i es començava a facturar per volum de dades transmeses.

### 3.4 Sistemes de Comunicació EDGE (2,5G)

EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) és considerat una evolució del GPRS. Va ser implantat als Estats Units l'any 2003 i és compatible amb qualsevol GSM però l'operador de telecomunicacions ha d'implementar les actualitzacions adients. Aquestes actualitzacions requereixen la modificació dels transceptors de les estacions base i un nou programari que permet descodificar/codificar els nous esquemes de modulació. La xarxa principal o core network no es necessària la seva modificació.

GPRS i EDGE comparteixen la mateixa velocitat de símbol (270 ksimbols/segon) però EDGE permet transmetre tres cops més de bits en el mateix període de temps, ja que utilitza la modulació 8PSK. Això permet que s'obtinguin taxes de transferència de fins a 384 Kbps.

Aquesta modulació produeix una paraula de 3 bits ( $8=2^3$ ) per cada canvi en la fase de la portadora, amb això, es triplica l'ample de banda disponible en el GSM, que utilitza la modulació GMSK ([Gaussian Minimum Shift Keying](#)).

### 3.5 Sistemes de Comunicació de Tercera Generació (3G)

Els sistemes de comunicacions de tercera generació o 3G són un conjunt d'estàndards que tenien la finalitat d'implementar un nou sistema de comunicacions que permetia una major capacitat de transmissió de dades en mobilitat respecte als sistemes de les generacions anteriors.

El desenvolupament dels sistemes de comunicació de tercera generació va esdevenir la introducció de la banda ampla en les comunicacions mòbils.

L'organització que va fer possible aquest conjunt d'estàndards és la International Telecommunications Union (**ITU**) que és l'encarregada de regular les telecomunicacions a nivell internacional entre les diferents administracions i operadores de telecomunicacions.

Això va suposar que tots els estàndards 3G a nivell mundial estiguessin agrupats sota les sigles IMT-2000 (**International Mobile Telecommunications-2000**)

Els estàndards englobats a IMT-2000 han de tenir les següents característiques :

- Major eficiència espectral i major capacitat que les generacions anteriors.
- Serveis de commutació de paquets i en mode circuit, com tràfic d'Internet (IP)
- Ample de banda dinàmic, per tant, adaptable a cada aplicació i major velocitat de transmissió.
- Major flexibilitat i compatibilitat en la utilització d'estàndards actuals i de generacions anteriors.
- Qualitat de la veu similar als sistemes alàmbrics.

A Europa, la tecnologia que s'utilitza és el UMTS que és el successor del GSM. Permet als usuaris disposar d'altres velocitats en transmissió de dades, capacitats multimèdia i una qualitat de veu comparable als sistemes fixes.



**Figura 5. Logotip del UMTS ®**

Tot això és possible gràcies a l'utilització de la tècnica del espectre eixamplat WDCMA (**Wideband Code Divison Multiplexing Access**) que permet augmentar la velocitat de transmissió, millorar la resistència a les interferències i facilitar el procés de transició entre dos cel·les (handover)

UMTS permet introduir molts més usuaris a la xarxa, a més d'oferir velocitats de transmissió de dades al voltant de 2 Mbps. Aquesta capacitat de transmissió sumada al suport del protocol IP, permet oferir serveis multimèdia i noves aplicacions de banda ampla com són les videotrucades o altres aplicacions de transmissió d'àudio i vídeo en temps real.

### 3.6 Sistemes de Comunicació de Tercera Generació (3,5G)

El terme 3,5G s'utilitza per fer referència a les noves versions del estàndard UMTS, que ofereixen millores en la capacitat, rendiment i eficiència respecte la versió esmentada anteriorment.

La versió més actual del estàndard UMTS es el HSPA (High Speed Packet Access).

Utilitza de forma més eficient el espectre radioelèctric que tenen assignat les operadores de telecomunicacions, millorant la velocitat i la latència en la transferència de dades. Aquesta millora dona com a resultat velocitats de transmissió de dades que arriben fins als 14,4 Mbps de descàrrega.

La constant evolució dels estàndards fa que sorgeixin millores com el HSPA Evolved o HSPA+, que augmenta la velocitat mitjançant la modulació de les dades amb 64QAM, aquesta transporta més dades utilitzant els mateixos recursos radioelèctrics. Gràcies aquesta velocitat podem arribar a obtenir velocitats realment altes : 28 Mbps de baixada i 11,5 Mbps de pujada.

A més a més, la utilització de MIMO, que permet transmetre vèries senyals en paral·lel, fa que la velocitat de baixada arribi als 42 Mbps.

Abans d'entrar als sistemes de comunicació de quarta generació, podem observar tots els sistemes i la seva evolució explicades anteriorment en la figura 6.

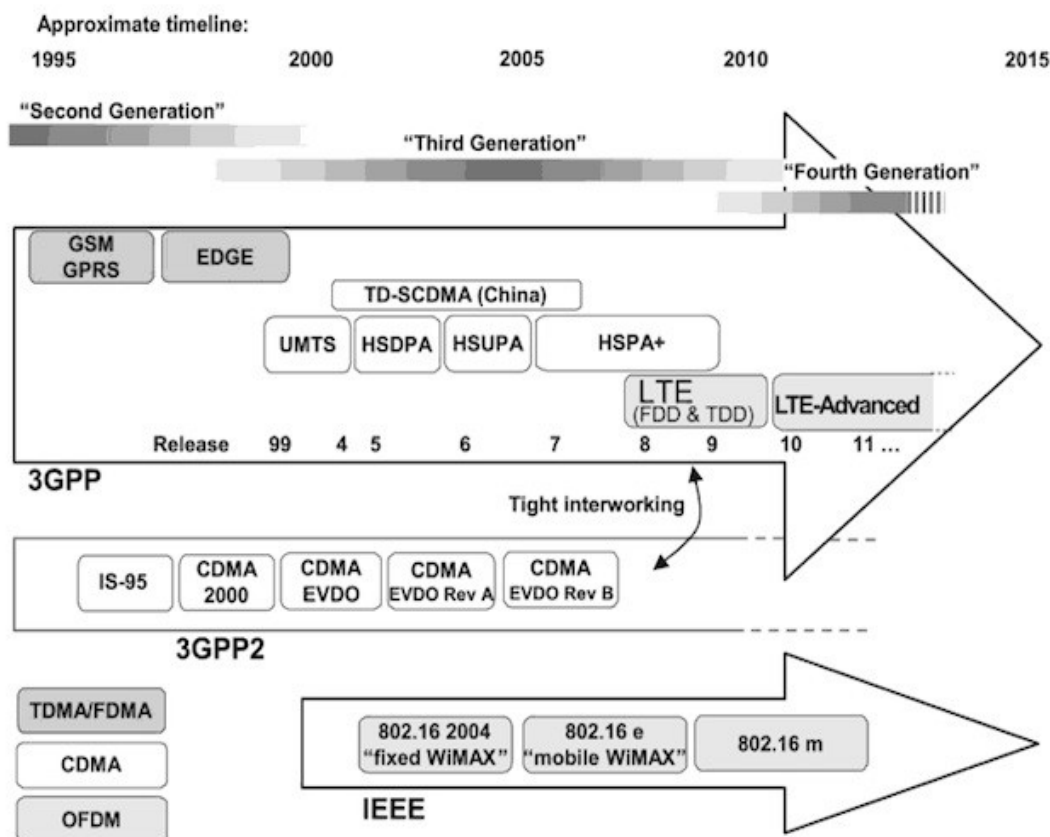


Figura 6. Evolució dels sistemes de comunicació mòbils

## 4. Long Term Evolution i 4G

### 4.1 Definició del LTE i les seves característiques

El LTE són les sigles Long Term Evolution, un projecte promogut pel 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project), associació que va crear el GSM i UMTS, per definir les bases sobre les qual es basaran els sistemes de comunicació de quarta generació.

El LTE sorgeix per cobrir principalment tres necessitats :

- Els usuaris volen més velocitat de transmissió de dades, equiparables a banda ampla fixa.
- Els fabricants de dispositius mòbils i els operadors de telefonia volen un estàndard menys complex i que redueixi costos d'implementació i de manteniment.
- S'ha d'assegurar la competitivitat del LTE/4G respecte a altres tecnologies, que s'expliquen més endavant, com el WIMAX.



Figura 7. Logotip de LTE® (3GPP)

Per tant, es crea un estàndard que disposa de les següents característiques tècniques :

- Alta eficiència espectral i molt baixa latència per millorar la qualitat del servei.
- Ample de banda adaptatiu : 1.25 , 3 , 5 , 10 , 15 i 20 MHz
- Arquitectura simple de protocol i mobilitat fins a 350 Km/hora
- Compatibilitat amb tecnologies anteriors de la 3GPP
- Utilització de la tècnica MIMO per augmentar la capacitat del sistema.
- Tècniques d'accés OFDMA per l'enllaç descendent i SC-FDMA per l'ascendent.
- Utilització de diferents tipus de modulació : QPSK, 16QAM i 64QAM

Dins dels avenços que inclou el LTE, podem trobar l'augment de la velocitat de transmissió de dades en interfície aèria gràcies a la implementació de nou tipus d'accessos en el enllaç ascendent i descendent, juntament amb la incorporació de la tècnica d'accés amb múltiples antenes en el receptor i en el transmissor, anomenada MIMO (Multiple Input Multiple Output)

Aquesta tecnologia augmenta l'eficiència espectral d'un sistema de comunicació inalàmbic per medi de l'ús del domini espacial. Per tant, aprofita els fenòmens físics com la propagació multicamí per incrementar la taxa de transmissió de dades i reduir la d'errors.

Espectro		1.25-20MHz
Modos Transmisión		FDD, TDD, Half-duplex FDD
Movilidad		hasta 350km/h
Acceso Radio	Downlink	OFDMA
	Uplink	SC-FDMA
MIMO	Downlink	2x2,4x2,4x4
	Uplink	1x2,1x4
Peak velocidad 20MHz	Downlink	173Mbps 2x2, 326Mbps 4x4
	Uplink	86Mbps 1x2
Modulación Adaptativa		QPSK. 16QAM v 64AM

Figura 8. Taula resum característiques LTE

## 4.2 Arquitectura del LTE

Abans de començar a parlar sobre l'arquitectura que ha de tenir un sistema de comunicacions mòbil basat en LTE, hem de considerar el visualitzar quins elements formen un sistema cel·lular i quina funció prenen.

Els elements principals són :

**Base Transceiver Station (BTS)** : La estació base és l'element que té la finalitat de comunicar-se amb dispositius de baixa potència com són els terminals d'usuari (MS) mitjançant ones electromagnètiques.

Les estacions base reben i envien trucades als telèfons mòbils que estiguin dintre de la seva àrea de cobertura.

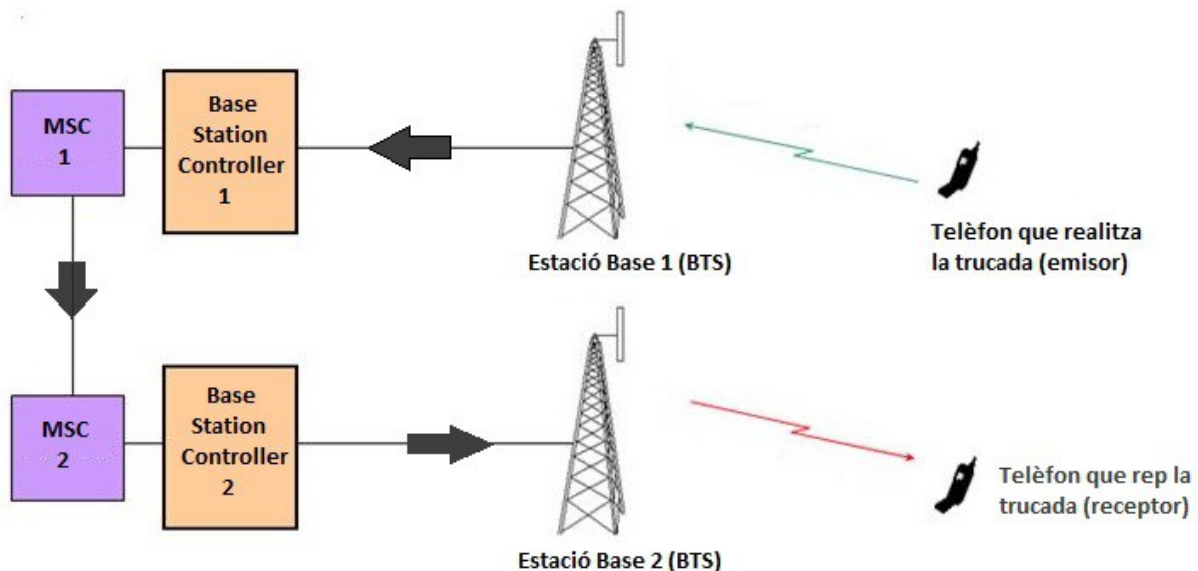


**Figura 9. Estació Base (BTS)**

**Mobile Station (MS)** : És el dispositiu, pel qual, l'usuari pot accedir a un conjunt de serveis de xarxa, com per exemple, un telèfon mòbil.

**Mobile Switching Center (MSC)** : És l'element que té com a funció interconnectar usuaris mitjançant les BTS. Formen part de l'anomenat Subsistema de Conmutació de Xarxa NSS (*Networking Switching Subsystem*) que és la unitat funcional dintre de la estructura encarregada de la conmutació i la gestió de les comunicacions.

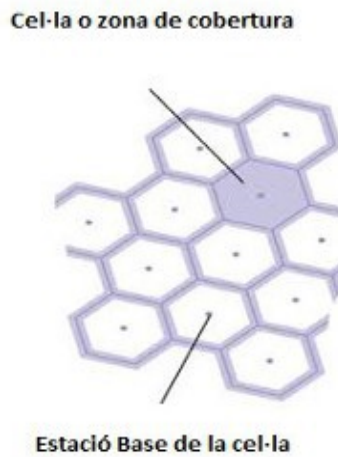
**Base Station Controller (BSC)** : Controlador encarregat de gestionar diverses estacions base (BTS), actuant com un concentrador per al tràfic dels abonats i com un encaminador cap a la estació base destinatària en cas de que sigui tràfic provinent del MSC.



**Figura 10. Procés de la realització i recepció d'una trucada**

Una xarxa de telefonia mòbil funciona de la següent manera :

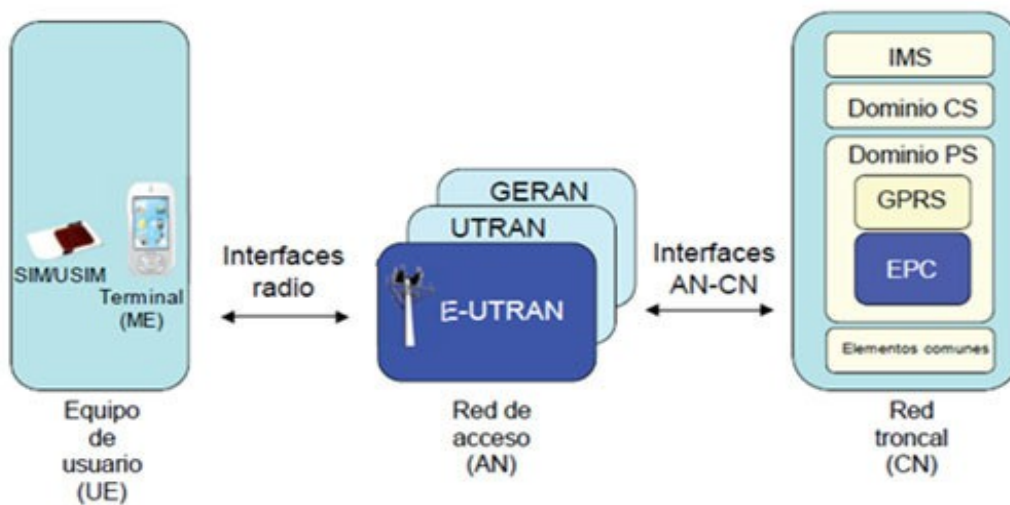
1. La superfície terrestre està dividida per un sistema de cel·les hexagonals.



**Figura 11. Sistema de cel·la hexagonal**

2. Al centre de cada cel·la hi ha una antena receptora / transmissora.
3. La suma de totes les cel·les formen una xarxa de telefonia mòbil.
4. Per realitzar una comunicació, els telèfons mòbils es comuniquen amb les estacions base de cada cel·la.
5. Segons l'usuari es mou, el telèfon selecciona l'antena de més potència o la més pròxima de forma automàtica (handover)

Una vegada resumit com funciona una xarxa de telefonia mòbil, a continuació observarem com funciona una xarxa basada en LTE.



**Figura 12. Arquitectura d'una xarxa LTE**

En la figura 12 s'observen els següents elements :

**Equip d'usuari (UE) :** Dispositiu que permet a l'usuari accedir als serveis de xarxa. Es connecta a la xarxa mitjançant una interfície via ràdio.

**Xarxa d'Accés ( AN) :** Part del sistema responsable de proporcionar la connectivitat entre l'equip d'usuari i els equips de la xarxa troncal. Té l'objectiu de gestionar l'ús dels recursos de forma eficient. La xarxa d'accés està formada per l'estació base.

**Xarxa troncal (CN) :** És l'encarregat de controlar l'accés a la xarxa, la gestió de la mobilitat dels usuaris, mecanismes de interconnexió amb d'altres xarxes... etc. La xarxa troncal està formada per equips que realitzen funcions de conmutació de circuits, encaminament de paquets, base de dades...

La suma dels serveis que proporcionen E-UTRAN i EPC conjuntament dona com a resultat la possibilitat de transferència de paquets IP entre els terminals d'usuari i les xarxes de paquets externes com Internet. Aquesta transferència de paquets entre els terminals d'usuari i les xarxes s'anomena EPS Bearer Service i la transferència que realitza la E-UTRAN s'anomena E-UTRAN Radio Access Bearer (E-RAB)

L'arquitectura de la xarxa d'accés es compon d'una única entitat de xarxa denominada *evolved Node B* (eNodeB) que constitueix la estació base de E-UTRAN, per tant, aquesta integra tota la funcionalitat de la xarxa d'accés. Aquests eNodeB's donen connectivitat als equips d'usuari i a la xarxa troncal EPC mitjançant les interfícies E-UTRAN Uu, S1 i X2 tal com es pot observar en la figura 13 :

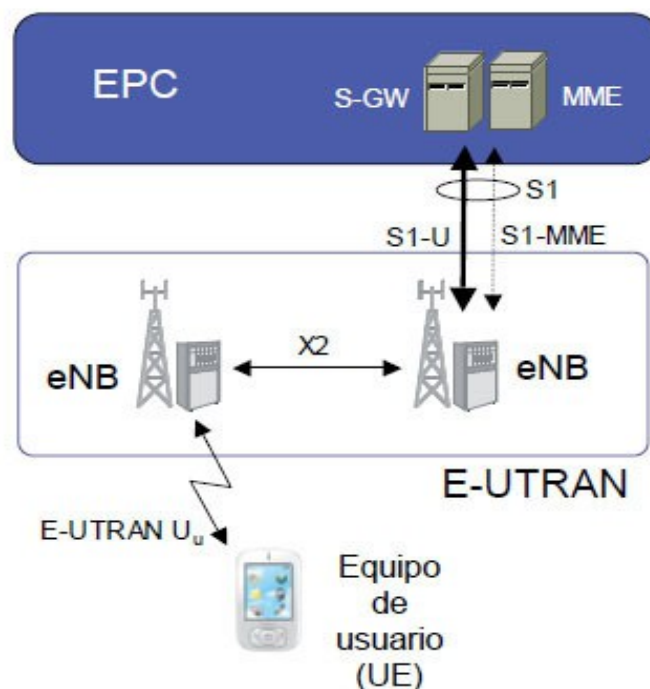


Figura 13. Arquitectura d'una xarxa LTE



**E-UTRAN Uu** : També anomenada interfície LTE, permet la transferència d'informació pel canal ràdio i entre el eNodeB amb els equips d'usuari.

**S1** : El eNodeB es connecta al EPC mitjançant aquesta interfície, que a la vegada, esta dividida en dos parts : S1-MME que sustenta el pla de control i la S1-U, com a suport al pla d'usuari.

**X2** : Interfície encarregada de la comunicació entre dos eNodesB. Mitjançant aquesta interfície els nodes s'intercanvien missatges de senyalització per gestionar més eficientment els recursos ràdio.

### **4.3 Tecnologies físiques i pròpies del LTE**

Anteriorment s'ha comentat que el LTE utilitza OFDMA per l'enllaç descendent i SC-FDMA per l'ascendent. Aquestes tècniques es complementen amb MIMO, que és una tècnica de transmissió i recepció de múltiples antenes.

#### **4.3.1 Tècnica OFDMA**

Aquesta tècnica està formada per altres dues com es la OFDM i la TDMA, la primera etapa es realitza amb OFDM i la segona amb TDMA.

OFDM és una tècnica de modulació que consisteix en la divisió d'un flux de dades d'alta velocitat en diferents flux paral·lels i de menor velocitat, cada un d'ells correspon amb un senyal de banda estreta en una subportadora.

Aquesta modulació és utilitzada en :

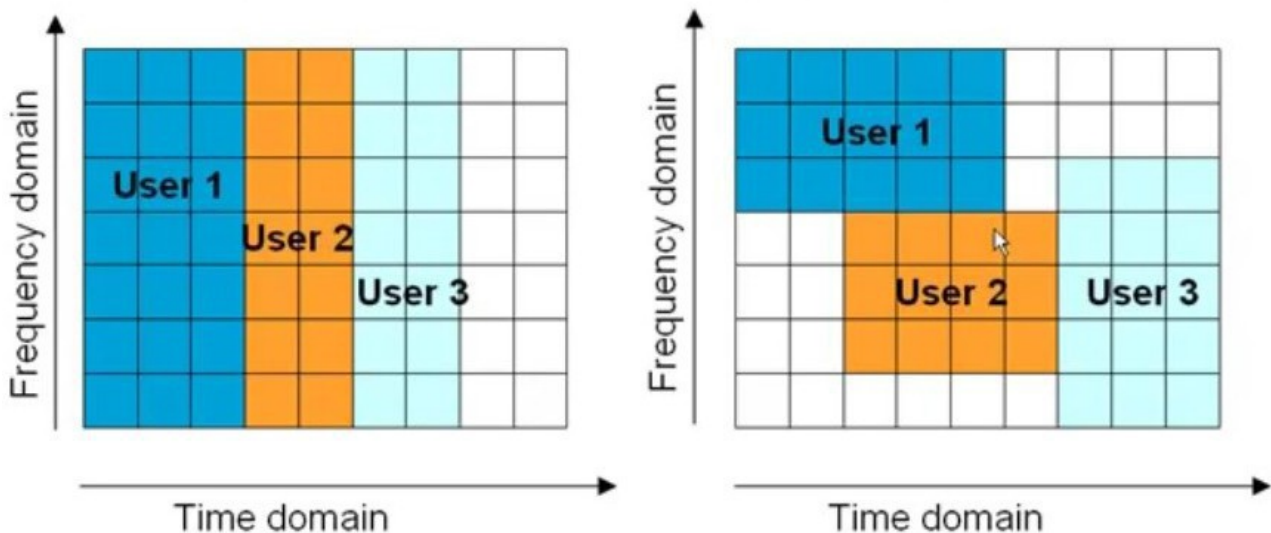
- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line)
- WiMAX (WorldWide Interoperability for Microwave Access)
- WLAN (Wireless Local Area Network)
- PLC (Power Line Communicartions)

Aquesta tècnica de modulació es utilitzada pels següents motius :

- Robustesa en la propagació multicamí, que és el fenomen donat quan les ones de ràdio arriben a les antenes receptores per més d'un camí i en diferents intervals de temps.
- Compatibilitat amb tècniques MIMO
- Flexibilitat d'adaptació a ràdio canals amb gran ample de banda.

El problema del OFDM és que les transmissions entre equips d'usuari en el domini del temps són molt properes, per tant, aquest factor provoca interferències que malmeten la qualitat de la senyal, és per això, que després de la modulació en OFDM es realitza la modulació en TDMA, que consisteix en dividir a les subportadores en conjunts i s'assigna de forma dinàmica dintre del canal de transmissió.

A continuació s'observa les diferències entre OFDM i OFDMA.



**Figura 14. Diferències entre OFDM i OFDMA**

La primera imatge pertany a OFDM i aquesta tècnica de modulació assigna solament als usuaris en el domini del temps.

La segona imatge pertany a OFDMA i aquesta tècnica de modulació assigna als usuaris en el domini del temps i freqüencial.

#### 4.3.2 Tècnica SC-FDMA

S'ha comentat anteriorment que s'utilitza OFDMA per l'enllaç descendent, aquesta tècnica genera senyals amb un alt índex PAR. El PAR són les sigles de *Pick to Average Power Ratio*, i són senyals en que la variació entre la mitja dels valors de potència i la potència pic és elevada. Per tant, emprant aquesta tècnica no s'utilitzen de manera eficient els amplificadors de potència.

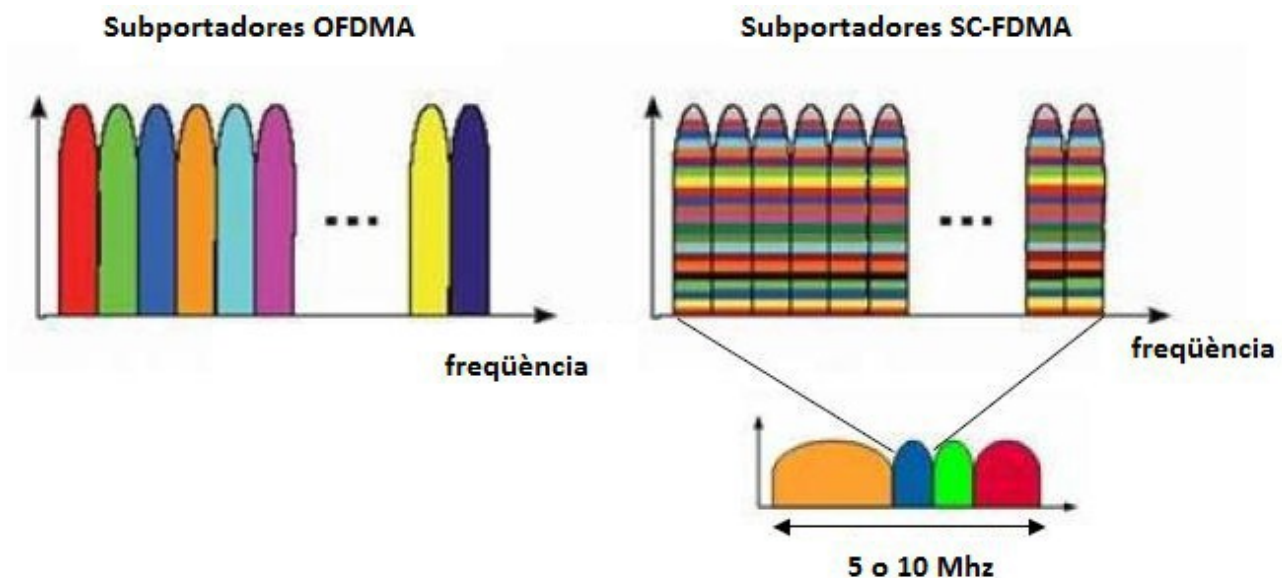
La duració de la bateria és un dels grans problemes que sorgeixen amb la compra d'un telèfon intel·ligent (smartphone). Els terminals cada vegada ofereixen més prestacions a canvi d'una duració de bateria més limitada. És cert que els fabricants, segons passa el temps, realitzen bateries més eficients però el que cal fer és que l'amplificador de potència del dispositiu, que s'encarrega d'amplificar la senyal rebuda mitjançant l'utilització d'energia, consumeixi la menor quantitat d'energia possible.

El sistema LTE utilitza per l'enllaç ascendent la tècnica SC-FDMA. SC-FDMA són les sigles de *Single Carrier Frequency Division Multiple Carrier* o *Accés Múltiple per Divisió de Freqüència amb portadora única*.

És una tècnica de modulació híbrida que agafa tots els beneficis de l'utilització del OFDM amb l'avantatge d'emprar una única portadora, que es divideix en subportadores, i com a conseqüència, es genera un baix PAR.

Aquesta tècnica redueix els pics de potència en el domini del temps però augmenta la potència radiada en el domini freqüencial.

En la figura 15 s'observa la diferència entre subportadores OFDMA de l'enllaç descendent i subportadores SC-FDMA de l'enllaç ascendent.



**Figura 15. Diferències entre SC-FDMA i OFDMA**

En OFDMA, cada subportadora solament porta informació relacionada amb un símbol específic.

En SC-FDMA, cada subportadora conté informació de tots els símbols transmesos.

Per tant, els avantatges d'emprar SC-FDMA en l'enllaç ascendent són els següents :

- Separació ortogonal dels usuaris en temps i freqüència. Aquesta separació és beneficiosa ja que evita la interferència intercel·lular (SI)
- Genera un PAR baix que fa que s'aconsegueixi un ús molt eficient de l'energia emmagatzemada en les bateries dels dispositius mòbils.
- Possibilitat d'assignació de recursos com el OFDMA. Aquesta tècnica brinda una major flexibilitat al poder compartir els recursos entre diferents usuaris de forma dinàmica, a més a més, s'adapta a les condicions particulars dels usuaris en un temps de símbol.

### 4.3.2 Tècnica MIMO

LTE utilitza una tècnica de propagació i recepció de senyals electromagnètiques fent ús de diferents antenes anomenada MIMO, que són les sigles de *Multiple Input Multiple Output* (*Múltiple Entrada Múltiple Sortida*).

MIMO incrementa la eficiència espectral per medi de utilització del domini espectral, aprofitant fenòmens físics com la propagació multicamí per incrementar la velocitat de transmissió o reduir la taxa d'errors.

En la figura 16 es pot observar les diferents tècniques de transmissió :

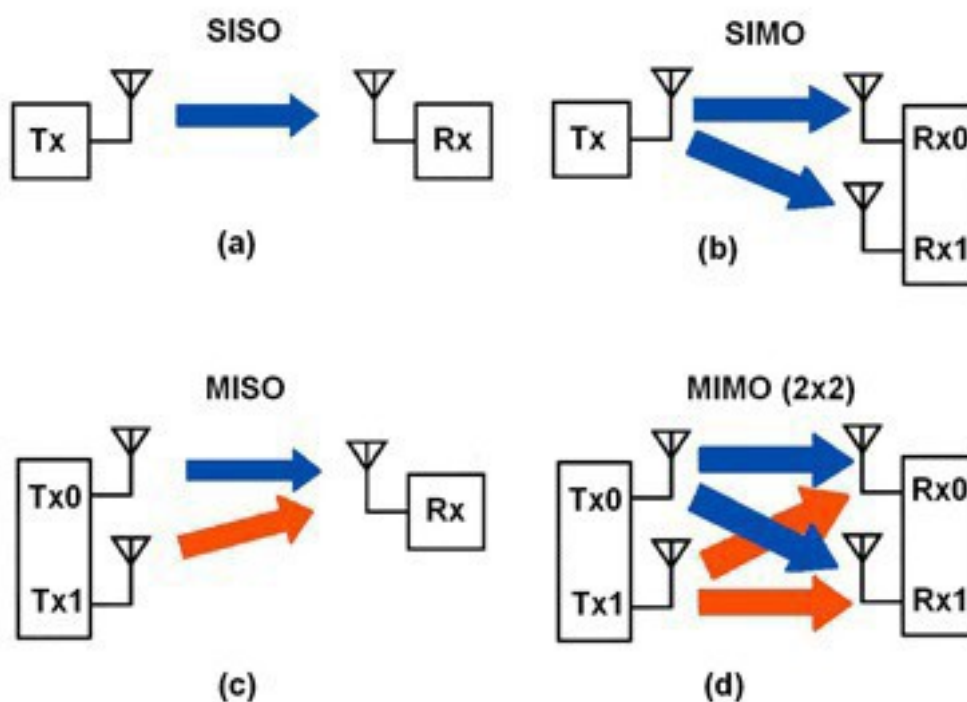


Figura 16. Diferències entre diferents tècniques de propagació

a) **SISO (Single Input Single Output)** : Solament es fa ús d'una antena transmissora i una antena receptora.

b) **SIMO (Single Input Multiple Output)** ; S'utilitza una antena transmissora i dos antenes receptors. Aquesta tipus d'accés és útil per tenir una baixa relació senyal-soroll (SNR) i, per tant, permet millorar la cobertura.

c) **MISO (Multiple Input Single Output)** : S'utilitzen dos antenes transmissores i una receptora.

d) **MIMO (Multiple Input Multiple Output)** : Tant el transmissor com el receptor tenen dos antenes. La senyal transmesa per una antena és rebuda per les dos antenes receptores, per la qual la senyal que es rep en una determinada antena és una combinació lineal de les senyals transmeses per cada antena transmissora.

MIMO es basa en la utilització del domini espacial, creant “canals espacials” diferenciats entre el transmissor i el receptor. Les quatre antenes operen en la mateixa freqüència i polarització, a més a més, han d'estar separades per una distància mínima que permeti la creació d'aquest canals espacials diferenciats.

Una transmissió de dades es modula i es divideix en trames més petites, aquestes quan arriben a l'antena receptora es separen mitjançant l'ús d'algoritmes que es basen en estimacions de tots els canals entre el transmissor i el receptor.

#### **4.4 Definició i factors que condicionen el 4G**

En els capítols anteriors, s'ha explicat amb detall com funciona el LTE i quines són les seves característiques tècniques, però... per què al LTE no se'l coneix amb aquest nom i si com a 4G?

L'estàndard LTE, que pertany al 3GPP, tècnicament no es podia dir que és una tecnologia de quarta generació perquè no compleix els requisits mínims definits per la **IMT-Advanced**, que és un comitè de telecomunicacions que defineix els requisits perquè un estàndard sigui de la família 4G.

Aquest requisits mínims són velocitats amb pic de transmissió i eficiència espectral, però la UIT (**Unió Internacional de Telecomunicacions**), que és un organisme de Telecomunicacions de la ONU, va decretar que els candidats a 4G, comercialment podien utilitzar aquesta nomenclatura per publicitar-se, per tant, és aquest el motiu pel qual es fa referència al LTE amb el nom de 4G.

Els dos principals beneficis que l'usuari percep al utilitzar el 4G (LTE) és la reducció de la latència, que de forma general, es troba per sota dels 50ms fent que les peticions d'accedir a Internet del nostre dispositiu es faci d'una forma més ràpida, a més a més, de disposar d'una transmissió de dades molt més ràpida arribant als 150 Mbits de descàrrega i 75 Mbits de pujada teòrics, però com es podrà observar més endavant, no pràctics.

Però aquests beneficis que l'usuari pot gaudir al utilitzar aquesta tecnologia depenen d'una sèrie de factors que, a continuació, es defineixen :

**Espectre dedicat** : La velocitat màxima que un usuari pot arribar a utilitzar depèn dels MHz que dediqui cada operador al 4G de tot el espectre que tenen disponible. Per exemple, la banda de 1800 MHz s'ha de compartir amb el 2G.

**La banda de freqüència** : L'abast és molt millor en la banda dels 800Mhz, actualment ocupada per la TDT però en procés de reordenació per a que els operadors la pugui utilitzar.

L'abast en la banda dels 800Mhz és de 5 quilòmetres, en contra dels 400 metres que té l'ús de freqüències altes, per tant, és molt important per poder donar servei sobretot en zones rurals.

**Les bandes del 4G i la categoria del dispositiu :** No tots els telèfons 4G que es venen funcionen amb totes les xarxes 4G del món. Hi ha casos com el Apple iPhone 5 no és compatible amb la banda dels 2600 Mhz, o banda 7, que és la banda que s'utilitzava en les ciutats on el 1800 Mhz estaven ocupades pel 2G.

A més a més, depèn de la categoria del terminal que l'usuari tingui, si l'usuari disposa d'un terminal de categoria 3 descarregaria a 100 Mbits però si té de categoria 4 descarregaria a 150 Mbits.

A continuació les categories dels terminals i les seves característiques :

Categoria LTE	Descàrrega (Mbits)	Pujada (Mbits)
1	10	5
2	50	25
3	100	50
4	150	50
5	300	75

**Figura 17. Taula de categories i les seves característiques**

*Els terminals de categoria 5, suporten 4G+ o LTE Advanced, que s'explica més endavant.*

**Les tarifes contractades i la targeta SIM :** Per poder gaudir de la experiència del 4G, hem de tenir una SIM i una tarifa compatible amb un operador que disposi de infraestructura LTE.

Seguidament, es mostra l'informació de les infraestructures dels tres principals operadors estatals :

	Vodafone	Movistar	Orange
<b>Frequències utilitzades</b>	10 Mhz en 800Mhz 20 Mhz en 1800 Mhz 20 Mhz en 2600 Mhz	10 Mhz en 800Mhz 20 Mhz en 1800 Mhz 20 Mhz en 2600 Mhz	10 Mhz en 800Mhz 20 Mhz en 1800 Mhz 20 Mhz en 2600 Mhz
<b>Màxima velocitat teòrica</b>	150 Mbits de baixada 50 Mbits de pujada	75 Mbits de baixada 25 Mbits de pujada	150 Mbits de baixada 50 Mbits de pujada
<b>Fabricants encarregats del desplegament</b>	Huawei ®	Alcatel-Lucent ® i Ericsson ®	Ericsson ® i Huawei ®

**Figura 18. Infraestructures dels operadors estatals**

## 4.5 El 4G a Espanya

A mitjans del 2013 els principals operadors d'Espanya van anunciar la disponibilitat del 4G a les principals ciutats com Madrid, Barcelona, Màlaga, València o Bilbao.

En aquell moment la cobertura 3G (UMTS) arribava gairebé el 98% del territori nacional segons la CMT ([Comissió Nacional del Mercat de las Telecomunicacions](#)), l'organisme encarregat de la regulació de les telecomunicacions a Espanya, tal com s'aprecia en la figura 19 :

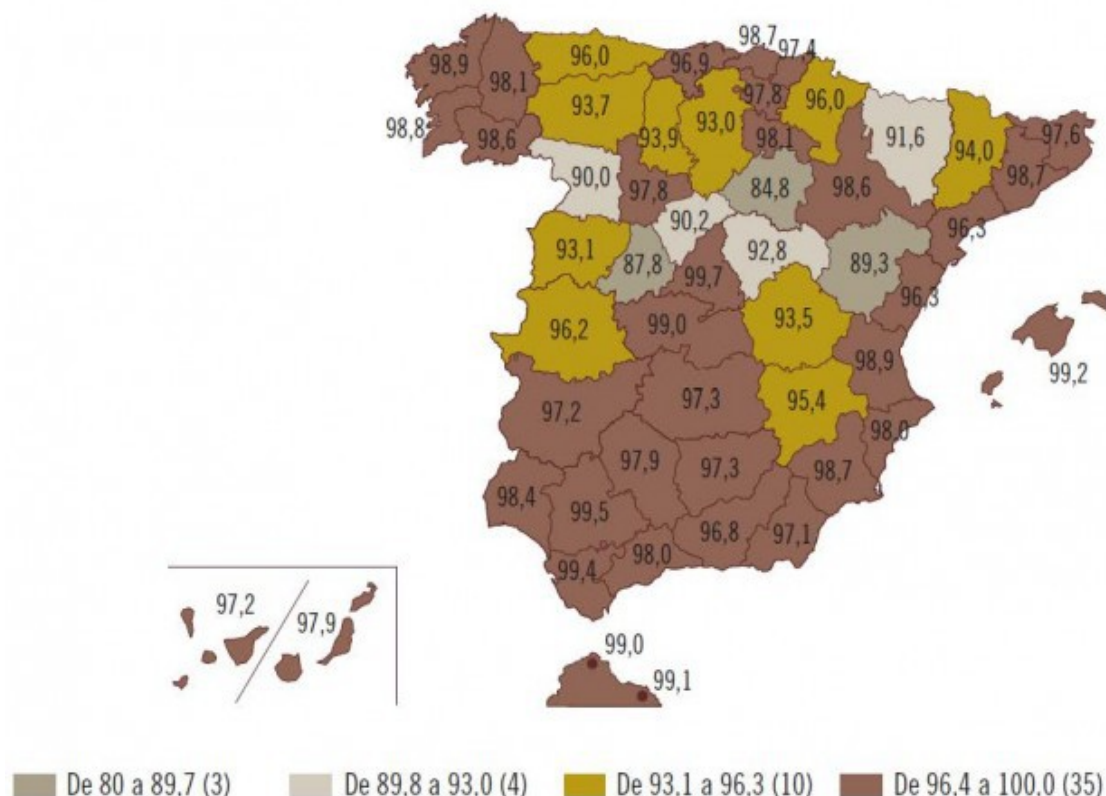
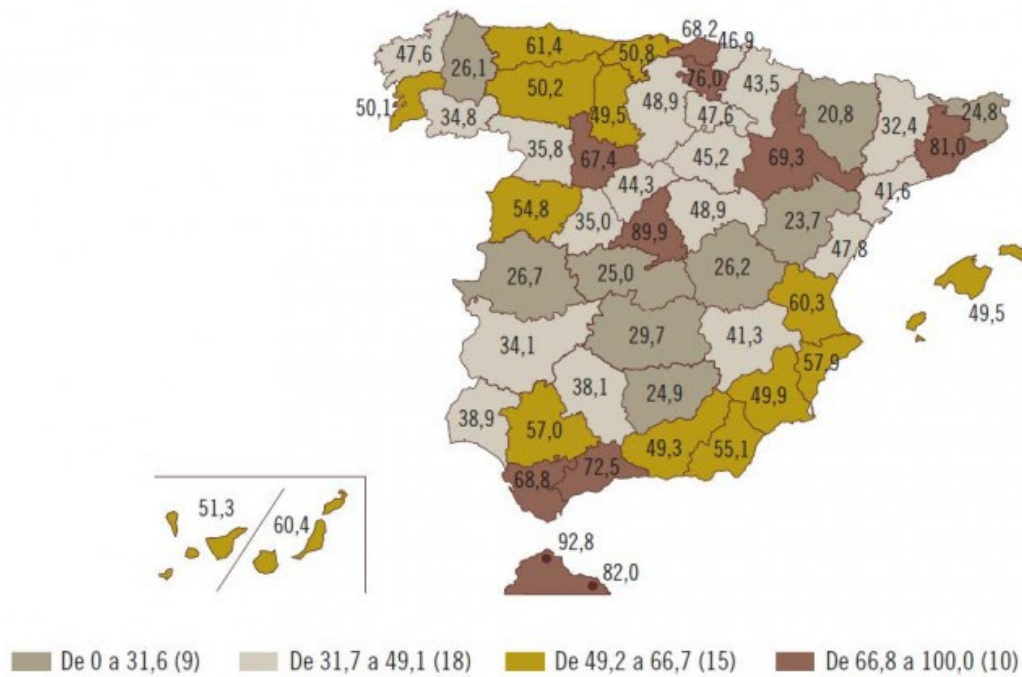


Figura 19. Cobertura 3G a nivell nacional al 2013 segons la CMT

Com es pot observar l'índex de cobertura 3G per províncies és alt, tan sols n'hi ha 3 províncies (Terol, Sòria i Àvila) que tenen un índex de cobertura inferior al 90%.

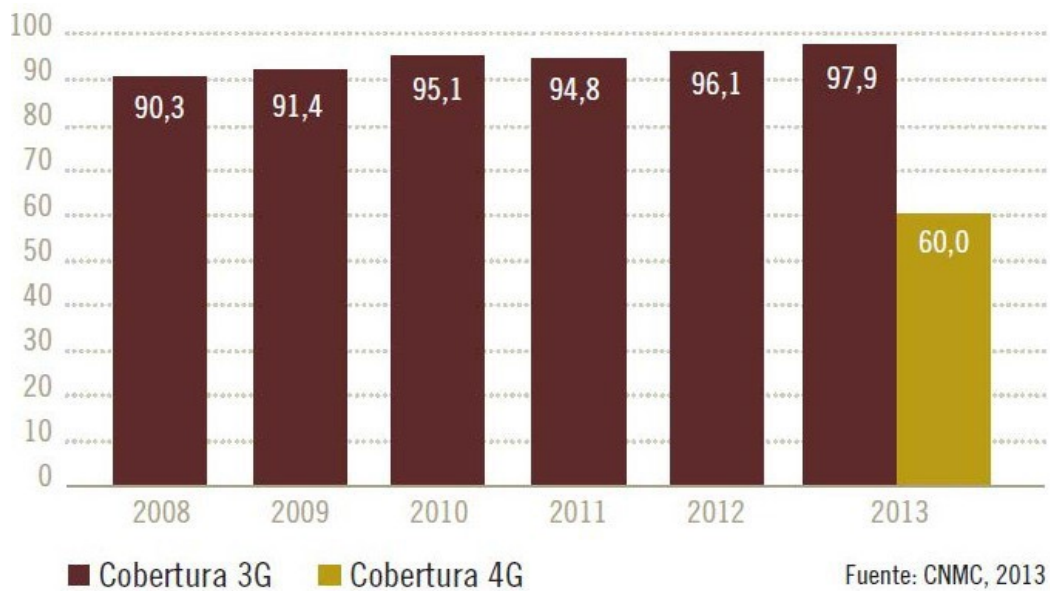
En quant al 4G, a dia d'avui, es pot gaudir en totes les capitals de província d'Espanya, per tant, encara queda molt feina per fer a les operadores de telefonia mòbil, com es pot verificar en la següent imatge :





**Figura 20. Cobertura 4G a nivell nacional a finals 2013 segons la CMT**

En la següent gràfica es pot observar la evolució de la cobertura 3G. En sis anys, el percentatge s'ha incrementat, exactament, en 7,6 punts. La cobertura 4G / LTE comença en una mitja d'un 60%



**Figura 21. Comparació de la cobertura entre el 3G i 4G**

S'observa la diversitat existent entre diferents províncies, per lo que durant aquest any 2014 els percentatges han augmentat i han quedat anivellats.



## 4.6 Prova de velocitat del 4G de la operadora Vodafone

Vodafone va ser la primera operadora espanyola en anunciar la disponibilitat de la seva xarxa 4G a Espanya. Concretament va ser al setembre del 2013 a Madrid, Barcelona, Màlaga, València, Sevilla, Palma de Mallorca i Bilbao.



Figura 22. Logotip de Vodafone ®

Un mes més tard, al octubre del 2013, l'operador britànic anuncia la disponibilitat a vuit ciutats més : Oviedo, Gijón, Santander, Vigo, La Coruña, Còrdova, Saragossa i Múrcia

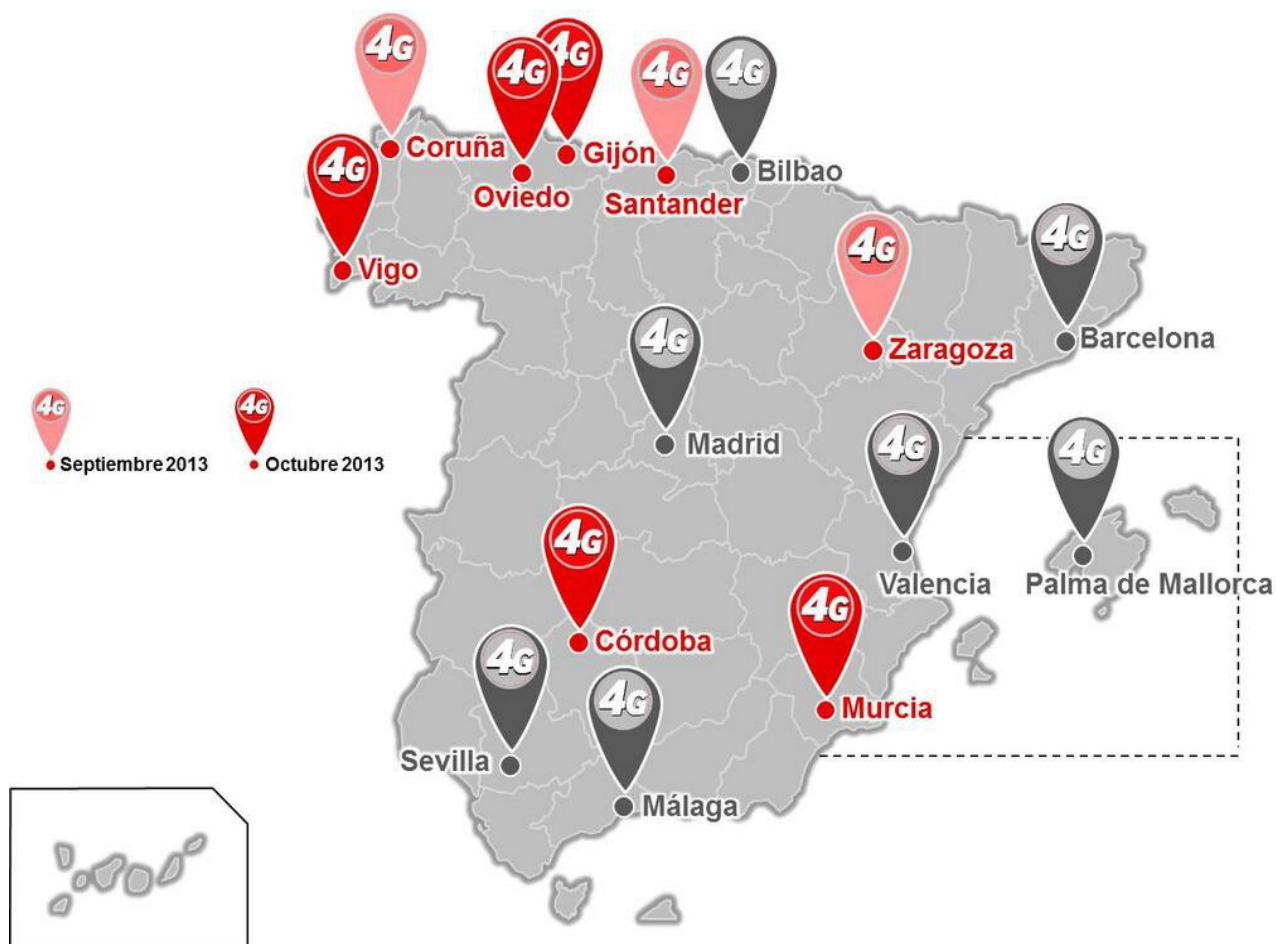
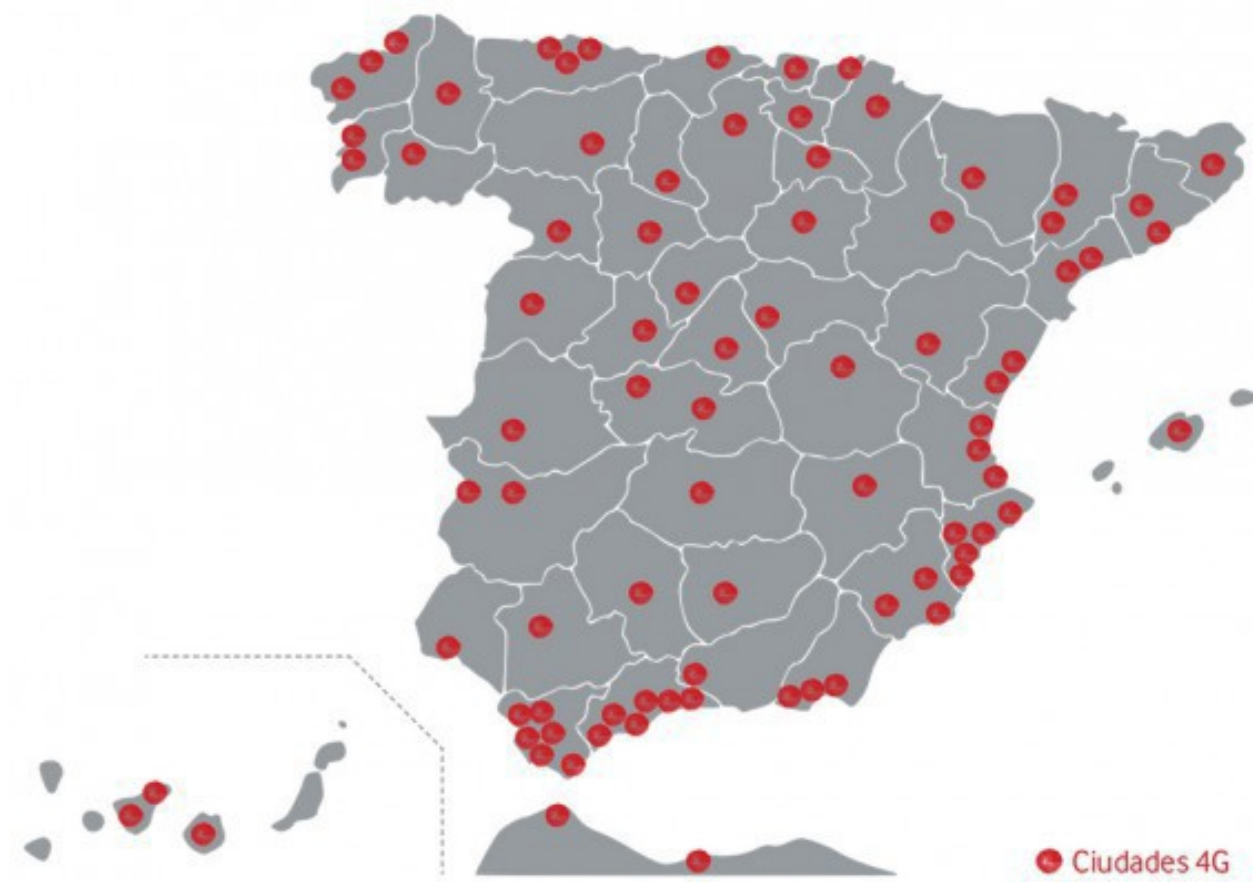


Figura 23. A l'octubre del 2013, Vodafone disposava de 4G a 15 ciutats espanyoles.

A la imatge que es pot observar a continuació, es veu l'abast nacional de la cobertura Vodafone a dia d'avui.



**Figura 24. Situació actual del LTE**

Es evident que cada vegada la cobertura 4G s'estén pel territori nacional, malgrat que encara queda molt per fer.

En aquest apartat farem una prova de velocitat. És compararem la velocitat 4G respecte a la 3G a Barcelona. Veurem si hi ha una diferència significativa i si realment val la pena que un usuari es compri un dispositiu compatible pel fet de gaudir d'aquesta velocitat de transmissió.

L'anàlisi s'ha realitzat amb un **LG G3** que és un smartphone de categoria 4 (↓ 150 Mbs / ↑ 50 Mbs) compatible amb les següents freqüències :

- 3G (HSPA +42Mbps/HSPA+21Mbps) (850 / 900 / 1700 / 1900 / 2100 Mhz)
- LTE (SVLTE, CSFB, CA, VoLTE RCS, MIMO) (850 / 900 / 1800 / 2100 / 2600 Mhz)
- 2G (GSM/EDGE) (850 / 900 / 1800 / 1900 Mhz)

Per la realització de la prova hem utilitzat l'aplicació **Speed Test** ([Link a l'aplicació per Android](#))

Primer de tot, es realitza una prova de velocitat amb cobertura 3G en una zona de Barcelona, i després es realitza el mateix test amb cobertura 4G.

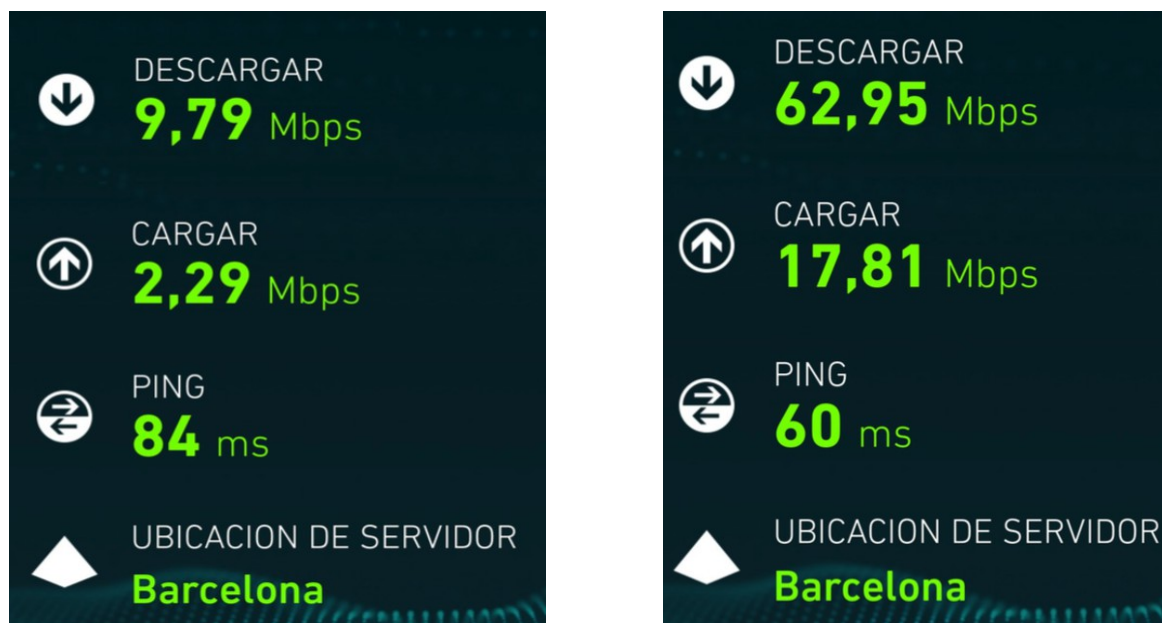


Figura 25. Comparació de velocitats entre el 3G (Esquerra) i 4G (Dreta)

Els resultats de la prova de velocitat utilitzant la xarxa 3G són :

- ↓ 9,79 Mbps de descàrrega
- ↑ 2,29 Mbps de pujada
- Latència de 84 mil·lisegons

Els resultats de la prova de velocitat utilitzant la xarxa 4G que s'han obtès són :

- ↓ 62,95 Mbps de descàrrega
- ↑ 17,81 Mbps de pujada
- Latència de 60 mil·lisegons

La connexió 4G suposa un millora substancial en la qualitat d'accés a Internet, multiplicant per 7 la velocitat de descàrrega, multiplicant per 8 la velocitat de pujada i millorant notablement la latència, que és el temps d'anada i tornada que usen les dades en recórrer la xarxa.

Per tant, es pot afirmar la total recomanació a tot usuari que realitzi, per exemple, descarrega d'arxius, utilització del mòbil com punt d'accés Wi-Fi, reproducció de contingut multimèdia, entre d'altres, a la compra d'un dispositiu compatible amb xarxes 4G.

## 5. El futur del LTE i 4G

L'estàndard LTE, sistema de comunicació mòbil de quarta generació, fa un any que va començar la seva implantació tal i com s'ha vist anteriorment, però ja comencen a sorgir evolucions dels estàndards actuals o inclús nous que milloren aspectes com la velocitat de transmissió o la eficiència espectral.

Una evolució del LTE és el LTE Advanced o LTE-A i conegut comercialment com 4G+.

També es mencionarà VoLTE o els sistemes de comunicació de cinquena generació o 5G, que ja hi han països, sobretot asiàtics, que estan començant a fer proves.

## **5.1 LTE Advanced o 4G+**

El LTE Advanced és una evolució del estàndard LTE que permet una transferència de fins a 300 Mbps amb un dispositiu compatible amb aquesta tecnologia (dispositius de categoria 5/6).

Els objectius del LTE Advanced es sobrepassar els requeriments de la ITU sobre el LTE, per tant, incrementa considerablement la capacitat, l'abast i assegura equitat als usuaris (transmissions simètriques).

Als operadors els permet la utilització d'amples de banda de fins a 100 Mhz d'espectre suportant així unes velocitats realment altes.

Actualment el 4G+ està disponible des d'octubre amb Vodafone en ciutats com Madrid, Barcelona i València.

## **5.2 VoLTE**

VoLTE, és el acrònim de *Voice Over LTE* (Veu sobre LTE), una tecnologia que permet realitzar i rebre trucades mitjançant una connexió de dades i utilitzant LTE.

Amb VoLTE es millora la qualitat del so, ja que al disposar de molt més ample de banda permet la realització de videotrucades o de trucades de veu amb qualitat CD (16 bit PCM a 44,1 kHz)

A més a més, la utilització de VoLTE fa que la connexió entre el emissor, que es el qui fa la trucada, al receptor es faci gairebé de forma instantànea, fins a 20 vegades que utilitzant una xarxa 3G.

A més també permet passar d'una trucada de veu a una videotrucada amb un sol click i amb una rapidesa molt significativa.

## **5.3 Sistemes de Comunicació de Cinquena Generació (5G)**

Els sistemes de comunicació de cinquena generació, anomenats 5G, a dia d'avui, encara no disposa d'unes especificacions concretes en cap document publicat per qualsevol organisme de normalització de telecomunicacions.

Es creu que el 5G començarà en el 2020 a estar operatiu, però no ha estat ficat en marxa cap projecte de desenvolupament internacional de l'estàndard i, encara, hi ha un gran debat de quines especificacions tècniques hauran de complir els estàndards que vulguin estar dintre dels sistemes de comunicacions de cinquena generació.

Molt segurament els beneficis del 5G podrien ser els següents :

- Major número de dispositius connectats al mateix temps
- Major eficiència espectral del sistema (volum de dades per unitat aèria)
- Menor consum de bateria en els terminals d'usuari
- Menor probabilitat d'interrupció i major cobertura
- Una menor latència i una transmissió de dades més ràpida
- Costos més baixos d'implantació de la tecnologia
- Major versatilitat i escalabilitat

A dia d'avui, els proveïdors d'equips de xarxa i els operadors de telecomunicacions proven tecnologies que podrien ser de cinquena generació, com és el cas de Ericsson, que a principis d'estiu va fer una prova de descàrrega amb dos operadores asiàtiques, NTT Docomo de Japó i SK Telecom de Corea del Sud, i la velocitat va ser de 5 Gbps o 5.000 Mbps, això és aproximadament 100 vegades més velocitat que el 4G (velocitats de 50Mbps).

## **6. Tecnologies alternatives**

Quines alternatives al LTE existeixen? Es coneixen? Quins beneficis disposen? En quins àmbits s'utilitzen?

Totes aquestes preguntes tenen resposta en aquest apartat en que s'aprofundirà en tecnologies alternatives com el WiMAX o el CDMA200 UMB, tecnologies que competeixen en major o menor mesura amb el LTE.

## 6.1 WiMAX

Quan es menciona la paraula WiMAX, es menciona l'acrònim de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* o *Interoperabilitat Mundial per Accés per Microones*.



Figura 26. Logotip de WiMAX®

L'estàndard que defineix la tecnologia és el IEEE 802.16 i consisteix en proporcionar accés de banda ampla inalàmbrica fins a 50 quilòmetres utilitzant ones de ràdio de freqüència compresa entre 2,3 i 3,5 GHz que s transmeten mitjançant una xarxa d'estacions base.

Cada estació base es connecten múltiples usuaris situats fins a 60 quilometres mitjançant petits panells situats al exterior dels edificis, que cal instal·lar i que s'assembla a una antena parabòlica.

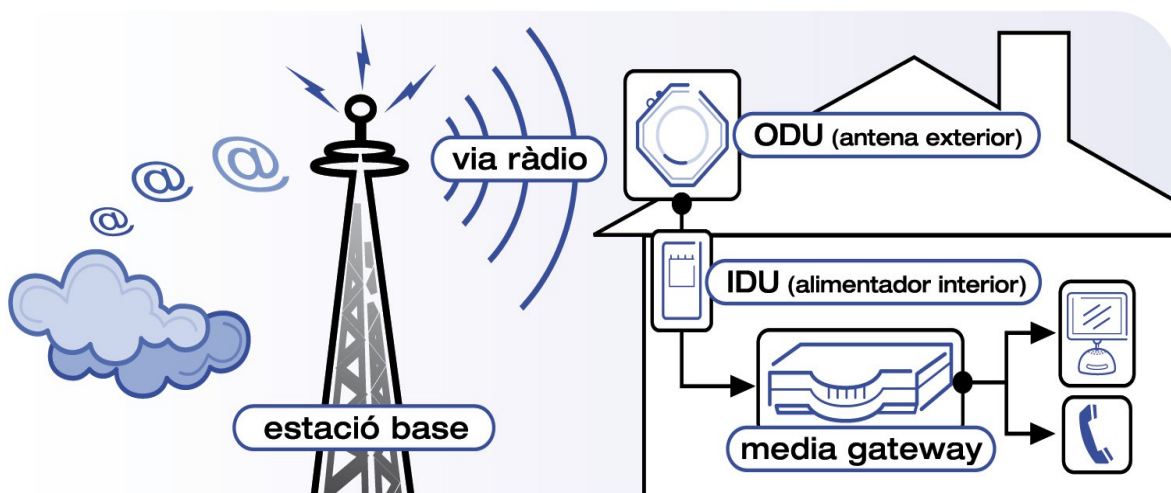


Figura 27. Funcionament del WiMAX

WiMAX està pensada per crear infraestructura de xarxa quan l'entorn o la distància no es favorable

per una xarxa cablejada, i és una alternativa més ràpida, eficient i econòmica que el tenir que fer una instal·lació cablejada. Per tant, és una opció molt clara a la banda ampla DSL i cable com són em les zones rurals.

Les característiques tècniques del WiMAX són les següents :

- Distàncies de fins a 60 quilòmetres amb antenes molt direccionals i d'alta guany.
- Velocitats de transmissió de dades de fins a 75 Mbits/s
- Amples de banda dinàmics

Seguidament, una comparativa entre les característiques tècniques del LTE i el WiMAX :

	<b>LTE</b>	<b>WiMAX</b>
<b>Radi de cel·la</b>	Aproximadament 5 Km	Entre 2 i 7 Km
<b>Capacitat de la cel·la</b>	200 usuaris a 5 Mhz Més de 400 per amples de banda majors	Entre 100 i 200 usuaris
<b>Eficiència espectral</b>	5 bits / segon / Hz	3,75 bits / segon / Hz
<b>Estàndards</b>	GSM / GPRS / UMTS / HSPA	IEEE 802.16 a fins a IEEE 802.16d
<b>Tecnologia d'enllaç de baixada</b>	OFDMA	OFDMA
<b>Tecnologia d'enllaç de pujada</b>	SC-FDMA	OFDMA
<b>Velocitat de descàrrega</b>	150 Mbits/s	75 Mbits/S
<b>Velocitat de pujada</b>	50 Mbits/s	25 Mbits/s
<b>Ample de Banda</b>	1,25 fins a 20 Mhz	5, 8.75 i 10 MHz

Figura 28. Comparativa entre LTE i WiMAX

## 6.2 CDMA 2000 UMB

CDMA 2000 UB és l'última evolució del estàndard IS-95 basat en tecnologia CDMA i conegut comercial com CDMA One.

UMB es l'acrònim de *Ultra High Mobile Band* o *Banda Mòbil Ultra Ràpida*.

Combina el millor de les tecnologies d'accés múltiple CDMA i OFDMA en una única interfície aèria i utilitzant tècniques com MIMO (explicada anteriorment) o SDMA (**Spatial Division Multiple Access**) permetent transferències de dades d'alta velocitat amb molt baixa latència i una alta eficiència espectral.

Les característiques tècniques són :

- Suporta assignacions incrementals d'espectre dels 1,25 fins als 20 Mhz.
- 288 Mbits/s en l'enllaç descendent i 75 Mbit/s en l'enllaç ascendent.
- IP com arquitectura de xarxa.
- Suporta tamanys de cel·les mixtes com macro cel·la, micro cel·la o la pico cel·la
- Utilitza FDD

Aquesta tecnologia s'utilitza en Austràlia, EEUU, Canadà, Xina, Japó o Corea del Sud.

## 7. Implantació del LTE a nivell local



Tal i com s'ha comentat anteriorment, el futur immediat en telecomunicacions és el desplegament de l'estàndard LTE a la totalitat del territori nacional. Poder oferir cobertura 4G a una població implica una sèrie d'estudis de planificació, disseny i de viabilitat econòmica.

Per tant, en aquesta part del projecte es realitza l'estudi del desplegament d'aquesta tecnologia en una zona de Barcelona, en la banda dels 800 MHz.

La zona en la que es farà el desplegament és la avinguda Diagonal de Barcelona, entre la plaça Maria Cristina i Francesc Màcia. Aquesta avinguda és una de les principals de la ciutat.

El disseny d'una xarxa està format, generalment, per dos etapes : l'etapa de planificació i l'etapa de desplegament. La primera fase s'ha de tenir present factors perquè la xarxa compleixi amb una qualitat de servei requerida.

En la figura 29 és pot observar el tram en que es vol dotar de cobertura LTE :



**Figura 29.** Tram de la avinguda Diagonal seleccionada pel desplegament del LTE

Aquest tram té 1,4 quilòmetres de longitud i l'amplada de l'avinguda és de 50 metres.

Les coordenades GPS són :

**Punt 1 - Plaça Maria Cristina :** 41° 23' 18.1066" N, 2° 7' 38.6470" E

**Punt 2 - Plaça Francesc Macià :** 41° 23' 33.0585" N, 2° 8' 38.1277" E

S'ha de tenir en compte que ara mateix la avinguda Diagonal disposa de cobertura HSPA+ en tota la seva superfície, és per això, el desplegament consistirà en una migració de HSPA+ a LTE.

## 7.1 Fase de Planificació

Aquesta fase es realitza el procés de planificació de freqüències, ubicacions i paràmetres dels transmissor d'un sistema de comunicacions inàlambrics per proporcionar cobertura i capacitat suficient per als serveis requerits.

L'objectiu principal és la cobertura i la capacitat. El primer es refereix a l'abast geogràfic dintre del sistema que disposi de suficient senyal de radio freqüència per proporcionar una sessió de trucada / dades.

La segona es refereix a la capacitat del sistema per mantenir un número mínim d'abonats.

Aquests dos conceptes estan relacionats entre si. Per millorar la cobertura, la capacitat ha de ser sacrificada i a l'inrevés, per tant son inversament proporcionals.

### 7.1.1 Qualitat de Servei (QoS)

Primerament, s'introdueix el concepte de Qualitat de Servei i la pròpia ITU la defineix com :

*“Efecte global de la qualitat de funcionament d'un servei que determina el grau de satisfacció de l'usuari”*

Figura 30. Definició de QoS per la ITU

El concepte de QoS és important quan quan és imprescindible la diferenciació de serveis i usuaris. Els mecanismes que disposa QoS han de permetre al operador un accés diferenciat a cadascun dels serveis i diferenciar el tracte dels usuaris per al mateix servei, com pot ser diferenciar als usuaris de contracte i prepagament. En la figura 31 es pot entendre aquest concepte.

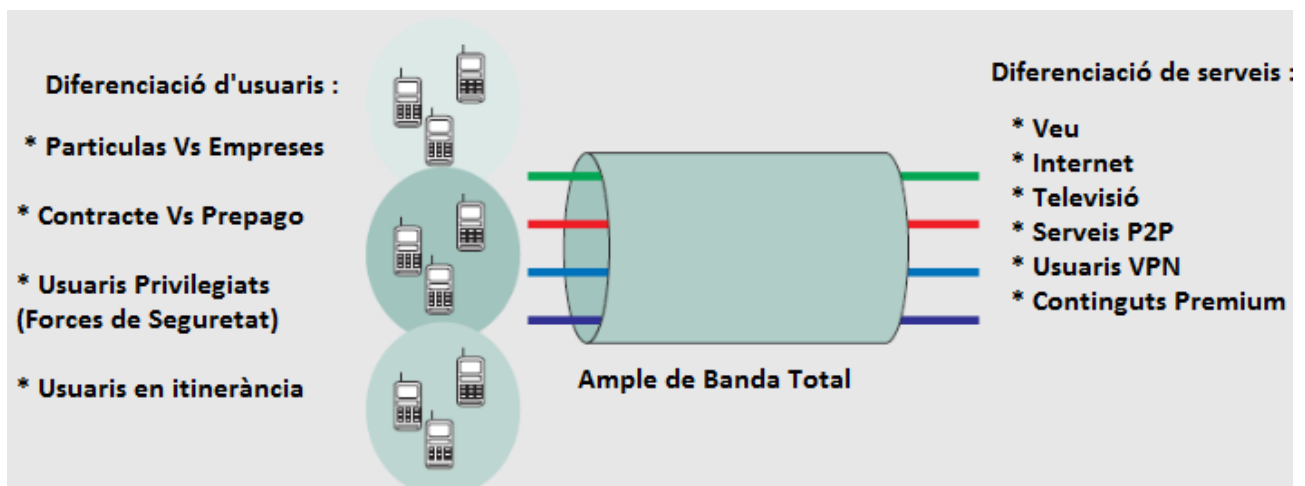


Figura 31. Diferenciació d'usuaris i serveis

Als usuaris els interessa aspectes de qualitat que poden ser percebuts per ells mateixos com poden

ser la taxa de transferència, el retard o latència, SNIR i la taxa d'errors.

A continuació es defineixen aquests conceptes :

**Taxa de transferència** : Es defineix com el número de bits que es transmeten per unitat de temps mitjançant un sistema de transmissió digital entre dos dispositius digitals.

El ample de banda teòric és una consideració important en el disseny d'una xarxa, perquè la taxa de transferència mai es més gran que l'ample de banda degut a les limitacions del medi i les tecnologies escollides. La unitat de mesura es el bit per segon (bps)

**Latència** : Aquest concepte fa referència a la suma dels retards temporals dintre d'una xarxa. Aquest retards es produeixen per la demora en la propagació i transmissió de paquets dintre d'una xarxa.

**BER o Taxa d'error** : BER són les sigles de Bit Error Rate. Es defineix com el número de bits que es reben de forma incorrecta respecte al total durant un interval de temps específic.

**SINR** : Són les sigles de Relació Senyal Soroll més interferència. SINR és utilitzada habitualment com una forma de mesurar la qualitat de les xarxes inalàmbriques.

La energia d'un senyal es desvaneix amb la distància, aquest concepte se'l coneix com pèrdua de trajectòria. Amb les xarxes cablejades la existència de un cable entre l'emissor i el receptor determina la correcta recepció de dades. En les xarxes sense fils s'han de tenir en comte altres factors com el soroll de fons.

En la figura 32 es pot observar les classes de QoS des de la perspectiva de l'usuari :

Clase de servicio de QoS	Conversacional	Interactiva	Streaming	Background
	Conversación en tiempo real	Clase interactiva al mejor nivel posible	Clase <i>streaming</i> en tiempo real	Clase de <i>background</i> al mejor nivel posible
<b>Características desde la perspectiva del usuario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits</li> <li>- Modelo conversacional (estricto y con bajo retardo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Patrón de respuesta a peticiones</li> <li>- Preserva el contenido útil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preserva la relación (variación) de tiempo entre las entidades de información del flujo de bits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El destino no espera los datos dentro de un tiempo limitado</li> <li>- Preserva el contenido útil</li> </ul>
<b>Ejemplo de la aplicación</b>	- Voz	- Navegación en la web	- Vídeo <i>streaming</i>	- Correo electrónico

Figura 32. Clase de QoS des de la perspectiva de l'usuari.

### 7.1.2 Elecció de la modulació

Un aspecte en LTE que té molta importància és l'elecció de la modulació que es vol utilitzar i la seva codificació. LTE implementa un mecanisme d'adaptació dinàmica que permet al usuari disposar d'una alta taxa binària si la qualitat és bona, o una taxa baixa si la qualitat es redueix.

Això permet tenir un alt rendiment ja que s'utilitza una modulació o una altra segons les condicions en un moment determinat. Per un SINR (Senyal de Interferència més Soroll) baixa, s'utilitzen modulacions més robusta con la QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), això permet reduir la taxa binària però a costa de tenir una baixa eficiència espectral.

Per una SINR alta, s'utilitza modulacions com 16QAM i 64QAM

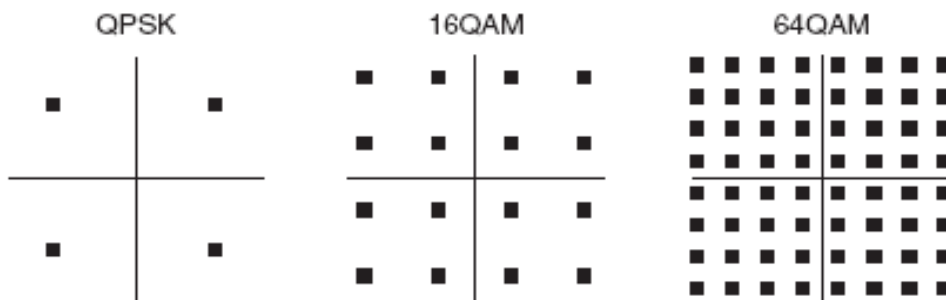


Figura 33. Diferenciació entre diferents tipus de modulació.

En la figura 34 es mostra un esquema de modulació per a diferents valors de SINR :

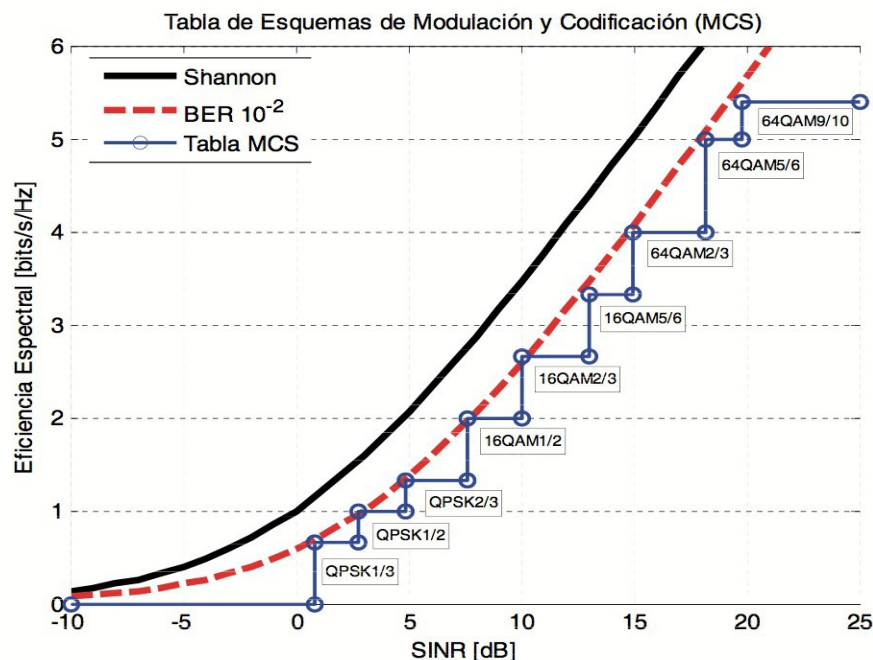


Figura 34. Tabla de modulació en funció de SINR

També s'ha d'eleger un model de propagació per aproximar l'àrea de cobertura dels llocs previstos

per al desplegament. El model de propagació no inclou els efectes del terreny.

Com s'observa en la figura 35, hi han diversos models de propagació classificats segons diferents factors.

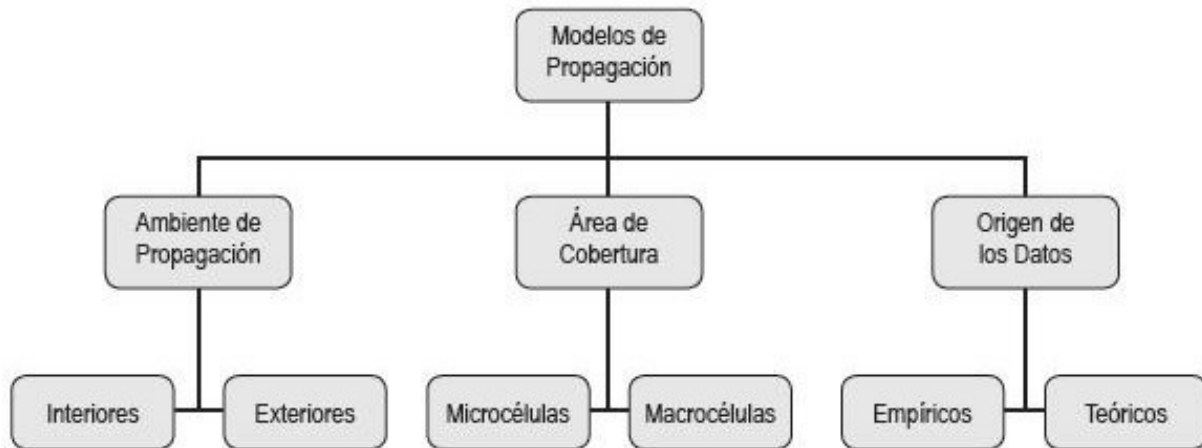


Figura 35. Classificació models de propagació

A continuació s'expliquen els models de propagació d'Okomura – Hata i Cost 231.

### 7.1.3 Model de Propagació Okomura – Hata

Aquest model és un dels més utilitzats per a la predicció de la pèrdua de propagació en ambients urbans. El principal resultat és un conjunt de corbes que proporcionen el nivell d'atenuació mitjana relativa a l'espai lliure en funció de la freqüència, la distància entre el transmissor i el receptor, l'altura de les antenes de la estació base i l'estació mòbil.

Aquest model està considerat dels més simples i millors en quan a precisió en el càlcul de pèrdues en el trajecte.

El model de Okumura – Hata està restringit en els següents valors :

- *Freqüència ( $f_c$ )* : 150 a 1500 Mhz
- *Altura de la antena transmissora ( $h_t$ )* : 30 a 200 metres
- *Altura de la antena receptora ( $h_r$ )* : 1 a 10 metres
- *Distància entre transmissor i receptor ( $d$ )*: 1 a 20 km

Per poder considerar les pèrdues en dB en ambients urbans de la següent manera :

$$L \text{ (dB)} : 69,55 + 26,16 \log_{10} (f_c) - 13,82 \log_{10} (h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10} (h_t)) \log_{10} (d)$$

### Figura 36. Pèrdues en dB en ambient urbà

La variable de la correcció de l'altura de la antena receptora pot tenir diferents valors depenent del ambient de l'estudi, llavors per a ciutats grans com és Barcelona, és :

$$a(h_r) : (3,2 \log_{10}^2(11,74h_r)) - 4,97$$

Figura 37. Correcció d'altura de la antena receptora en ciutats grans

#### 7.1.4 Model de Propagació COST 231

Aquest model de propagació és un semi-empíric de predicció de les pèrdues en un trajecte.

És el recomanat per a macro cel·les en àmbits urbans i suburbans, amb bons resultats de les pèrdues en el trajecte per antenes situades per damunt de l'altura mitjana dels sostres.

Però s'ha de tenir molt present que el error en les prediccions augmenta considerablement a mesura que l'altura del transmissor s'apropa a l'altura dels sostres, arribant a tenir un rendiment baix per als transmissors situats per de baix d'aquest nivells.

COST 231 amplia el rang de freqüències, que va des dels 800 Mhz fins als 2000 Mhz. A més a més realitza un càlcul més detallat de l'atenuació basant-se en quatre paràmetres :

- Altura dels edificis
- Ample dels carrers
- Separació entre edificis
- Orientació del carrer respecte la direcció de propagació

Les restriccions són les següents :

- *Freqüència ( $f_c$ )* : 800 fins als 2000 Mhz
- *Altura del transmissor ( $h_t$ )* : 4 fins a 50 metres
- *Altura del receptor ( $h_r$ )* : 1 a 3 metres
- *Distància entre el emissor i el receptor ( $d$ )* : 0,02 metres fins a 50 quilòmetres
- *Altura relativa respecte als edificis* : 0 metres

Per saber les pèrdues en dB en àmbit urbà d'aquest model és amb la següent equació:

$$L(\text{dB}) : 46,3 + 33,9 \log_{10}(f_c) - 13,82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d) + C_M$$

**Figura 38. Equació àmbit urbà COST 231**

- $C_M$  : Factor de correcció. Es basa en proves empíriques que demostren que per a ciutats grans, és major que en àrees suburbanes. Per tant, en ciutats com Barcelona el valor del factor de correcció és de 3dB i en zones suburbanes i petites ciutats és de 0 dB.

A continuació, s'utilitza el programari Modellus ([enllaç de descàrrega](#)) que permet interpretar equacions matemàtiques i poder interpretar-les amb la realització de gràfics.

L'objectiu es veure com quins valors de pèrdues en dB tenim si fem servir aquest model de propagació.

Introduïm l'equació següent al programari :

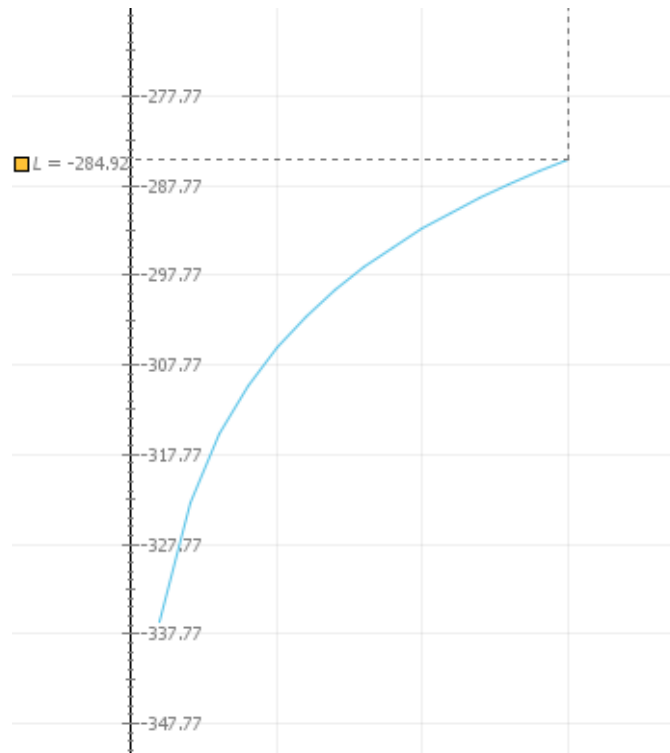
$$L \text{ (dB)} : 46,3 + 33,9 \log_{10}(f_c) - 13,82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d) + 3$$

**Figura 39. Equació àmbit urbà COST 231 a Barcelona**

La freqüència és 862 MHz, l'altura del transmissor 1,5 metres i la correcció d'altura de l'antena és 439, per tant la taula de valors resultant és la següent :

$d$	$L$
0.00	-∞
0.10	-336.37
0.20	-323.20
0.30	-315.49
0.40	-310.03
0.50	-305.79
0.60	-302.33
0.70	-299.40
0.80	-296.86
0.90	-294.62
1.00	-292.62
1.10	-290.81
1.20	-289.16
1.30	-287.64
1.40	-286.23
1.50	-284.92

**Figura 40. Taula de valors àmbit urbà COST 231 a Barcelona**



Seguidament s'observa la gràfica resultant en la figura 41 :

**Figura 41. Gràfic urbà COST 231 a Barcelona**

### 7.1.5 Model de Propagació Longley - Rice

Aquest és el model de propagació que s'utilitza en la simulació que es realitza en la fase de desplegament de la tecnologia en l'avinguda Diagonal.

Aquest model ajuda a realitzar una predicció de l'atenuació de senyals de ràdio per a un enllaç de telecomunicacions entre un rang de 20 MHz i 20 GHz i diferents altures d'antenes transmissores/receptores.

Se'l coneix com model de terreny irregular (ITM). Aquest model presenta una generalització de la potència de senyal rebuda sense una caracterització detallada del canal. Utilitza recursos estadístics per compensar la caracterització del canal, que depèn de les variables i escenari i medi ambient.

Està dissenyat per ser emprat en anàlisis de llargues distàncies en el que el transmissor o el receptor estan separats entre un i dos mil quilometres.

Per al càlcul considera les irregularitats del terreny, com per exemple, els següents :

- Constant dielèctrica del sòl (permeabilitat relativa)
- Conductivitat del sòl
- Diferents tipus de clima
- Polarització horitzontal i vertical



## 7.2 Fase de Desplegament

En la fase de desplegament, utilitzarem un programari anomenat Radio Mobile ([enllaç de descàrrega](#)) que ens permetrà fer una simulació de radio propagació per poder estudiar el comportament de sistemes radio, simular radioenllaços i representar àrees de cobertura d'una xarxa de telecomunicacions.

### 7.2.1 Antenes LTE

L'antena que farem servir per fer el desplegament del LTE en la banda dels 800 MHz és una Katherin, model 84010510.

És una antena omnidireccional que disposa de les següents característiques :

<b>General specifications</b>	
Frequency range	698–894 MHz 1710–2170 MHz
VSWR	1.5:1
Impedance	50 ohms
Intermodulation (2x20w)	IM3: -150 dBc
Polarization	+45° upper and lower band -45° upper and lower band
Connector	4 x 7-16 DIN female
Isolation intrasystem intersystem	30 dB 40 dB (698–894 // 1710–2170 MHz)
Radome color	Brown or grey
Weight	45 lb (20.4 kg)
Height	24 inches (609 mm)
Radome diameter	16 inches (407 mm)
Wind load Side	at 93 mph (150kph) 32 lbf (138 N)
Wind survival rating	100 mph (160 kph)
Shipping dimensions	32 x 20 x 19 inches (813 x 508 x 483 mm)
Shipping weight	52 lb (23.6 kg)

Figura 42. Característiques tècniques Katherin 84010510

A continuació en la figura 43 es pot observar una imatge de l'antena :



Figura 43. Imatge Katherin 84010510

És una antena omnidireccional tal i com es mostra en la figura 44 :

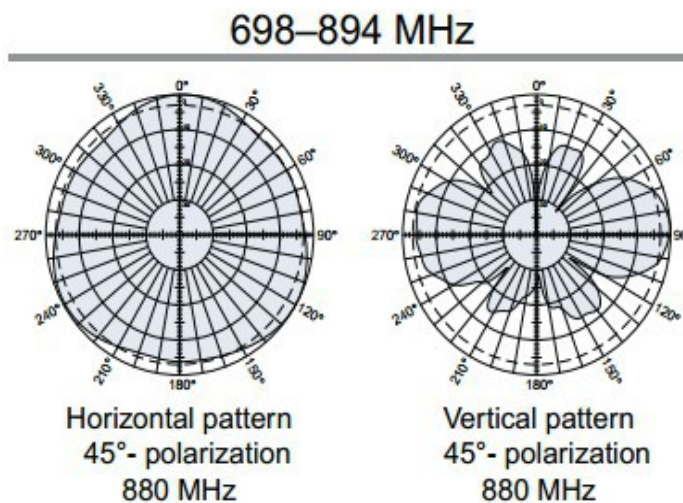


Figura 44. Diferents polaritzacions Katherin 84010510

<b>Specifications</b>	<b>698–806 MHz</b>	<b>806–894 MHz</b>
Gain (typical)	4.5 dBi (with 1–4 dB nulls, typical)	6.5 dBi
Maximum input power	250 watts (at 50°C)	250 watts (at 50°C)
+45° and -45° polarization vertical beamwidth	37° (half-power)	30° (half-power)

Figura 45 . Especificacions Katherin 84010510

## 7.2.2 Inici de la Simulació amb Radio Mobile

Com s'ha comentat anteriorment, per realitzar la simulació de desplegament d'una xarxa LTE tant en la banda 800 MHz (actualment en reestructuració ja que és utilitzada per la TDT) amb el programari gratuït Radio Mobile ([enllaç de descàrrega](#)).

A continuació, es pot apreciar una imatge per satèl·lit de l'avinguda Diagonal de Barcelona, entre els la plaça Maria Cristina (*punt 1*) i la plaça Francesc Macià (*punt 2*).



Figura 46 . Zona en la que es vol dotar de LTE.

El fet que es desplegui tecnologia LTE entre aquests dos punts, i donades les característiques tècniques del enodeB i la seva polarització, indirectament es dona abast tant al barri de Sarrià (nord de l'avinguda Diagonal) com al barri de Les Corts (sud de l'avinguda Diagonal) inclòs part del barri de l'Eixample.

Per el desenvolupament de la xarxa s'ha utilitzat el model de propagació de Longley-Rice o ITM (Irregular Terrain Model). Aquest model de propagació ens permet realitzar el càlcul de l'atenuació entre un rang freqüencial de 20 MHz i 20 GHz.

## 7.2.3 Paràmetres de la xarxa LTE amb banda 800 MHz

En aquest apartat es comença l'explicació de dotar de cobertura LTE utilitzant la banda dels 800 MHz, per tant, els paràmetres que s'han d'introduir en el programari són els següents :

Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
Nombre de la red <input type="text" value="LTE 800 Mhz"/>				
Frecuencia mínima (MHz) <input type="text" value="791"/>				
Frecuencia máxima (MHz) <input type="text" value="862"/>				
Polarización <input type="radio"/> Vertical <input checked="" type="radio"/> Horizontal				
Modo estadístico <input type="radio"/> Intento    % de tiempo <input type="text" value="90"/> <input type="radio"/> Accidental    % de ubicaciones <input type="text" value="90"/> <input checked="" type="radio"/> Móvil    % de situaciones <input type="text" value="90"/> <input type="radio"/> Difusión				
Pérdida adicional <input checked="" type="radio"/> Ciudad <input type="radio"/> Bosque    % <input type="text" value="30"/>				
			Refractividad de la superficie (Unidades-N) <input type="text" value="301"/>	
			Conductividad del suelo (S/m) <input type="text" value="0,005"/>	
			Permitividad relativa al suelo <input type="text" value="15"/>	
			Clima <input type="radio"/> Ecuatorial <input type="radio"/> Continental sub-tropical <input type="radio"/> Marítimo sub-tropical <input type="radio"/> Desierto <input type="radio"/> Continental templado <input checked="" type="radio"/> Marítimo templado sobre la tierra <input type="radio"/> Marítimo templado sobre el mar	

**Figura 47 . Paràmetres de la xarxa LTE utilitzant la banda 800 MHz**

En primer lloc, s'han introduït el rang de freqüències des de la 791 fins als 862 MHz. (791 fins als 821 MHz per l'enllaç descendent, 832 fins al 862 Mhz per l'enllaç ascendent).

En segon lloc, es selecciona la polarització horitzontal de l'antena Katherin 84010510 ja que dona més abast que la polarització vertical.

Es defineix *polarització* com l'orientació del camp elèctric d'una ona electromagnètica.

Per últim, s'elegeix un clima marítim templat sobre la terra per seleccionar un clima el més semblant possible a una ciutat mediterrània com és Barcelona.

*Els altres valors, són valors estàndards proporcionats pel programari.*

A continuació, fem clic en “*Topologia*” i seleccionem “*Xarxa de dades, cluster (Node / Terminal)*” tal i com es veu en la figura 48:

Red de voz (Controlador/Subordinado/Repetidor)  
 Red de datos, Topología estrella (Master/Esclavo)  
 Red de datos, cluster (Nodo/Terminal)

Número máximo de retransmisiones permitidas

**Figura 48 . Es selecciona “Xarre de dades, cluster”**

Els membres d'aquesta xarxa seran dos :

- *eNode B (Node / Katherin 80010510)*

Disposa de les següents característiques tècniques :

Seleccionar desde Base ... Mobile ...

Nombre del sistema

Potencia del Transmisor (Watt)  (dBm)

Umbral del receptor ( $\mu$ V)  (dBm)

Pérdida de la línea (dB)  ( Cable+cavidades+conectores )

Tipo de antena  Ver

Ganancia de antena (dBi)  (dBd)

Altura de antena (m)  ( Sobre el suelo )

Pérdida adicional cable (dB/m)  ( Si la altura de la antena difiere )

**Figura 49. Característiques tècniques node**

S'ha seleccionat una antena omnidireccional que doni abast a totes les zones i arribi a tots l'usuari, és per això que es selecciona aquest tipus d'antena i no una directiva.

- *Telèfon Mòbil (Terminal d'Usuari)*

Disposa de les següents característiques tècniques :

The screenshot shows a configuration window for a mobile terminal. At the top, there are two dropdown menus: the first contains '00' and the second contains 'Seleccionar desde Base ... Mobile ...'. Below these is a text field for 'Nombre del sistema' with the value 'Telèfon Mòbil'. The 'Potencia del Transmisor (Watt)' is set to '0,25' and '(dBm)' to '24'. The 'Umbral del receptor (µV)' is '1' and '(dBm)' is '-107'. The 'Pérdida de la línea (dB)' is '2' with a blue note '( Cable+cavidades+conectores )'. The 'Tipo de antena' is 'omni.ant' with a 'Ver' button. The 'Ganancia de antena (dBi)' is '2' and '(dBd)' is '-0,15'. The 'Altura de antena (m)' is '1,8' with a blue note '( Sobre el suelo )'. The 'Pérdida adicional cable (dB/m)' is '0' with a blue note '( Si la altura de la antena difiere )'. A blue line connects the antenna height field to the additional cable loss field.

**Figura 50. Característiques tècniques terminal mòbil**

Per als sistemes de quarta generació, s'utilitzen dispositius amb una potència de transmissió de 0,25 Watts o 24 dBm.

Les pèrdues són mínimes perquè un terminal mòbil és de tamany reduït, per tant, s'ha optat per un valor estàndard de 2 dB.

L'antena és omnidireccional, que és la que s'utilitzen en aquest tipus de terminals i l'altura de l'antena és de 1,8 metres que és l'altura d'una persona que pot tenir una persona (es podria posar altres valors).

*Els altres valors, són valors estàndards proporcionats pel programari.*



## 7.2.4 Localització en el mapa dels membres de la xarxa LTE 800 MHz

A continuació es mostra la proposta per donar abast LTE en l'avinguda Diagonal i la localització del node i dels terminals mòbils en el mapa.



**Figura 51 . Localització de tots els elements de la xarxa LTE**

**Base LTE 800 Mhz** : Situat damunt de la torre número 1 de “La Caixa” en plaça Maria Cristina. L'alçada d'aquest edifici és de 85 metres més 3 metres de l'antena, per tant, la suma dóna un total de 88 metres. És l'edifici més alt del tram analitzat de l'avinguda Diagonal. Per aquest motiu és idoni per la instal·lació del node.

**Terminal Mòbil 1** : Situat a la Ronda del Mig.

**Terminal Mòbil 2** : Situat a la plaça Francesc Macià.

**Terminal Mòbil 3** : Situat a l'avinguda Sarrià xamfrà amb l'avinguda Diagonal.

**Terminal Mòbil 4** : Situat a Travessera de Les Corts.



## 7.2.5 Àrea de cobertura xarxa LTE 800 MHz

En aquest apartat estudiarem si la proposta anterior és correcta, o necessita de la reubicació del node o de utilització d'un repetidor.



Figura 52 . Abast de cobertura l'avinguda Diagonal

Com es pot observar, el node situat dona un bon abast als telèfons 1, 3 i 4, i així ens ho mostra el programa dibuixant unes línies de color verd. El contrari passa amb el telèfon mòbil 2, situat a la plaça Francesc Macià, que no arriba un bon servei, per tant, apareix una línia de color vermell.

Una solució seria la reubicació del node situat a plaça Maria Cristina a una situació intermitja entre els dos punts, però s'opta per la utilització d'un repetidor que millori aquesta connexió amb el terminal 3. Per tant, s'instal·la un repetidor a l'edifici Godó, de 82 metres d'alçada, situat a la plaça Francesc Macià, tal com es mostra en la figura 53:

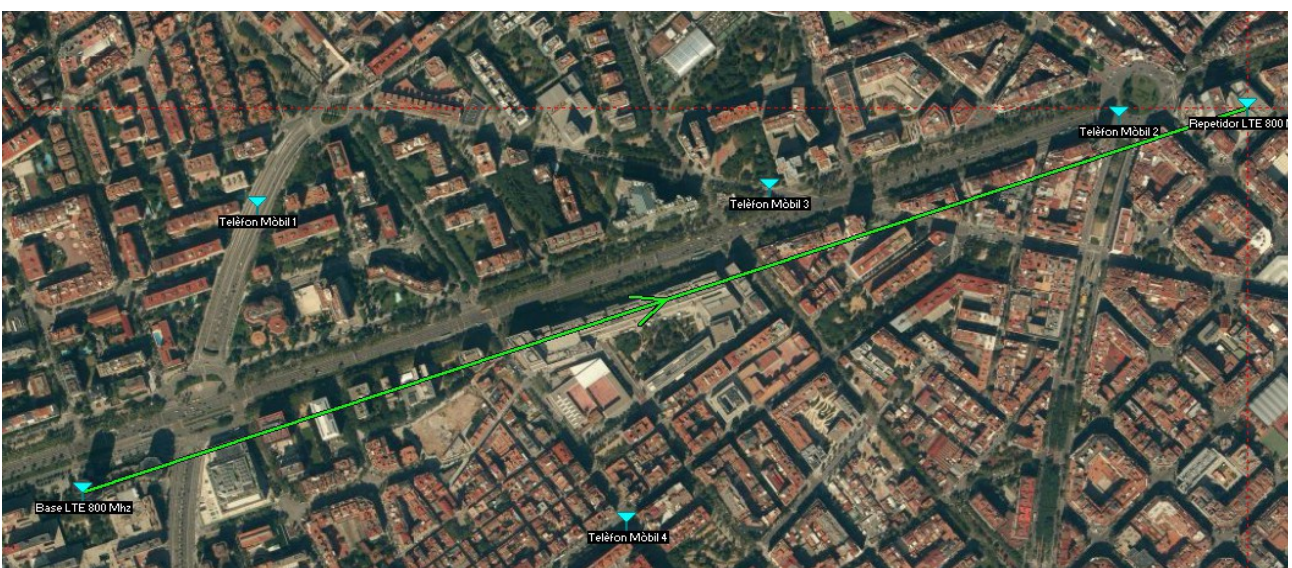


Figura 53. Connexió node - repetidor



A continuació, es pot observar dades geogràfiques i relatives a la connexió del node amb el repetidor :

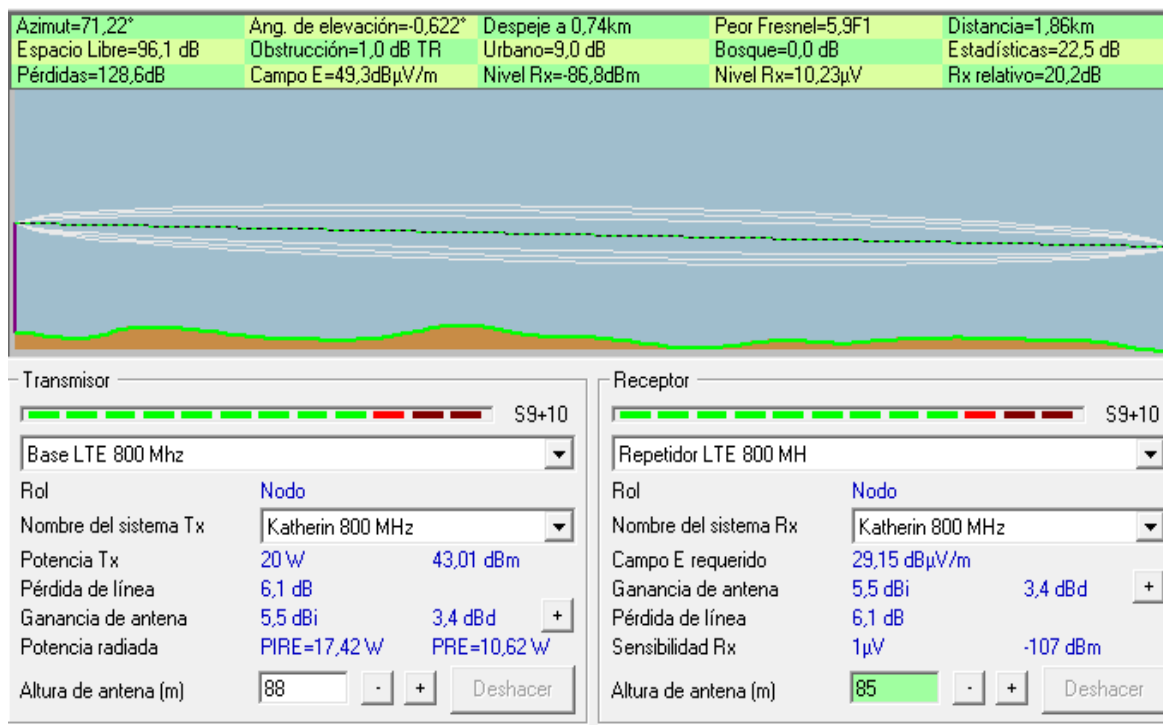


Figura 54 . Connexió node - repetidor

Ara que es disposa d'un node que millori la connexió, es podrà veure si dóna resultat amb l'usuari del terminal mòbil 3.



Figura 55 . Diagrama cobertura Avinguda Diagonal.

Efectivament, la millora es pot observar en un augment de la qualitat de servei dels usuaris, ja que abans de la instal·lació del repetidor, l'usuari del terminal mòbil 3 no podia realitzar connexió amb cap altre usuari. Amb d'instal·lació d'aquest, l'usuari es connecta al repetidor i aquest amb els usuaris que estan dintre de la zona de cobertura.

## 7.2.6 Resultats obtinguts de la simulació

A continuació es mostren els resultats i detalls d'algunes connexions entre els diferents nodes i terminals d'usuari.

- *Connexió Base LTE – Terminal Mòbil 1 (Ronda del Mitg)*

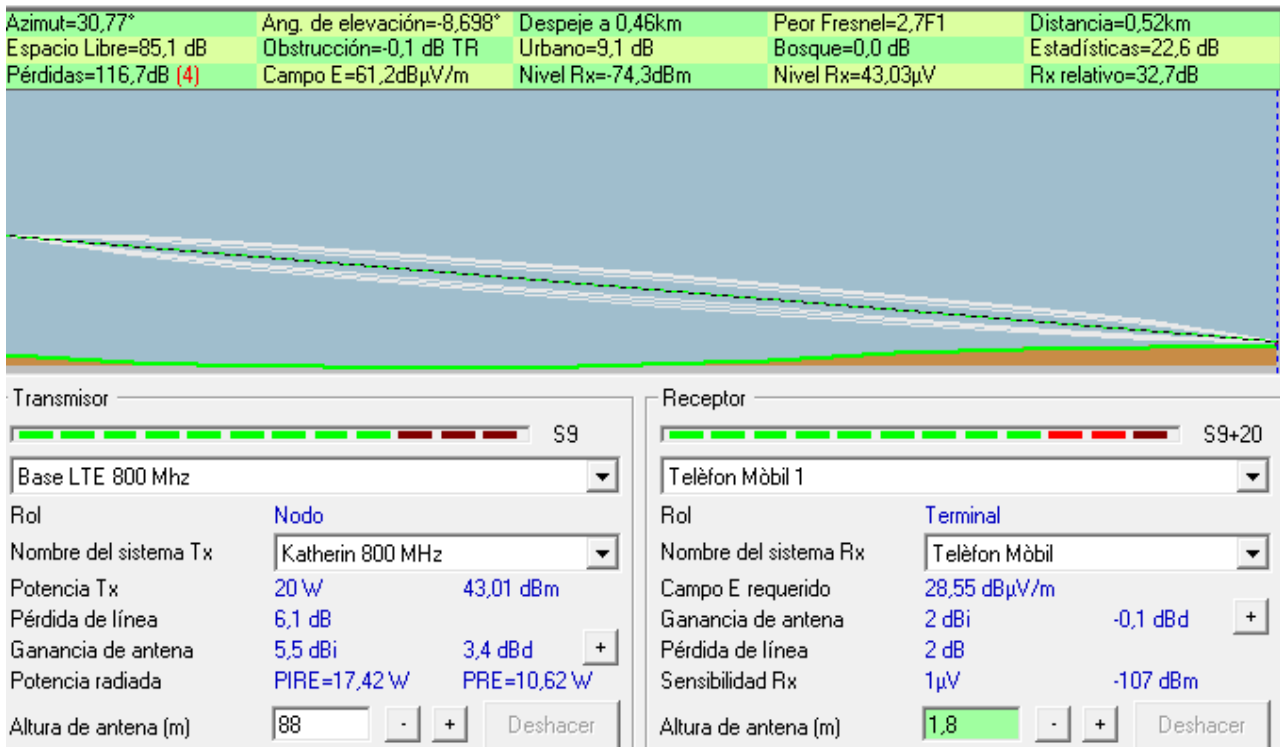


Figura 56 . Resultat Base LTE – Telèfon Mòbil 1

La distancia entre Base LTE 800 Mhz y Telèfon Mòbil 1 es 0,5 km (0,3 miles)  
 Azimet norte verdadero = 30,77°, Azimet Norte Magnético = 30,44°, Angulo de elevación = -8,6977°  
 Variación de altitud de 18,8 m  
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 2,7F1 a 0,5km  
 La frecuencia promedio es 826,500 MHz  
 Espacio Libre = 85,1 dB, Obstrucción = -0,1 dB TR, Urbano = 9,1 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 22,6 dB  
 La pérdida de propagación total es 116,7 dB  
 Ganancia del sistema de Base LTE 800 Mhz a Telèfon Mòbil 1 es de 149,4 dB  
 Ganancia del sistema de Telèfon Mòbil 1 a Base LTE 800 Mhz es de 130,4 dB  
 Peor recepción es 13,6 dB sobre el señal requerida a encontrar  
 90,000% de tiempo, 90,000% de situaciones  
 Advertencia 4

Figura 57 . Detalls Base LTE – Telèfon Mòbil 1

- Connexió Repetidor LTE – Terminal Mòbil 1 (Ronda del Mitg)

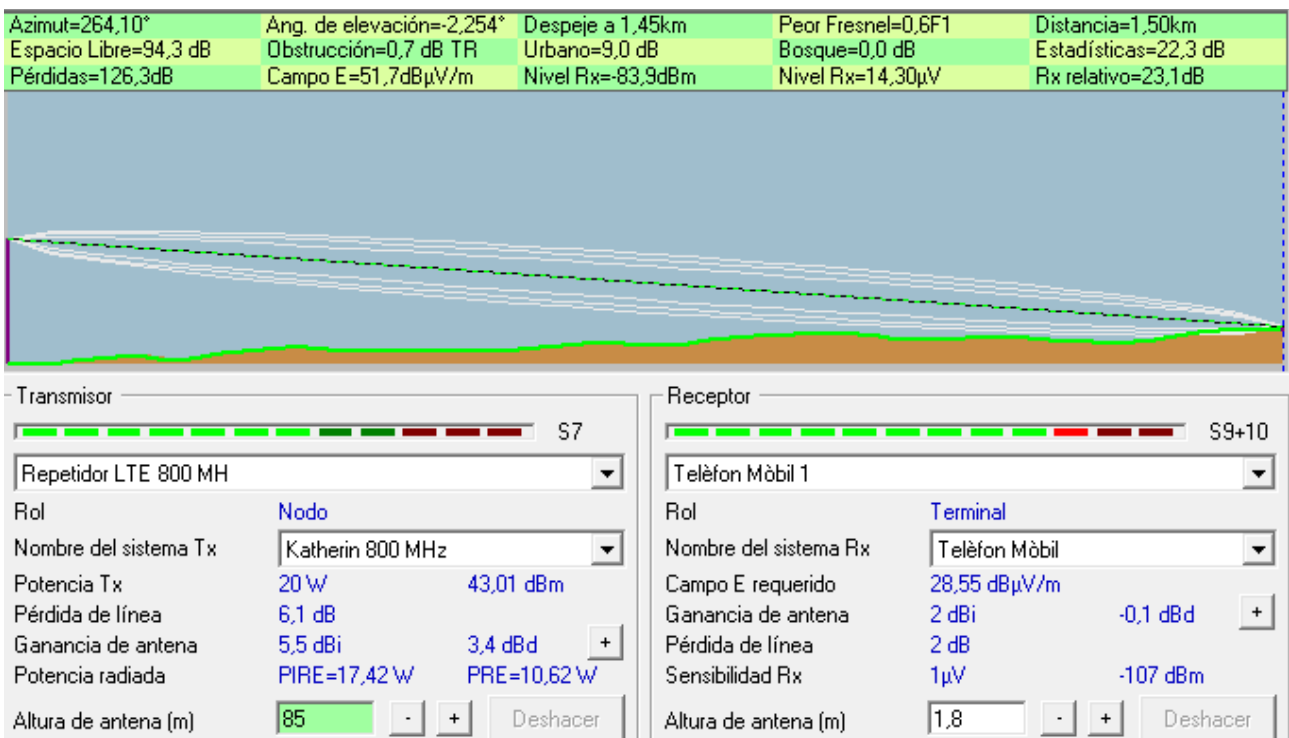


Figura 58 . Resultat Repetidor LTE – Telèfon Mòbil 1

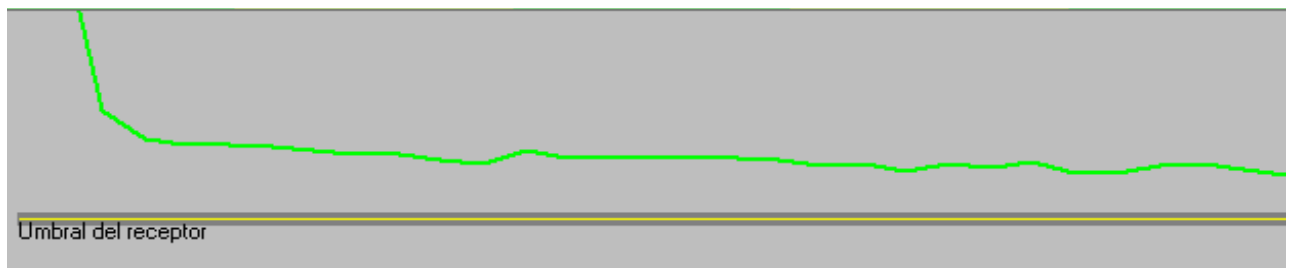


Figura 59 . Llindar del receptor Telèfon Mòbil 1

L'eix X és distància, l'eix Y és intensitat.

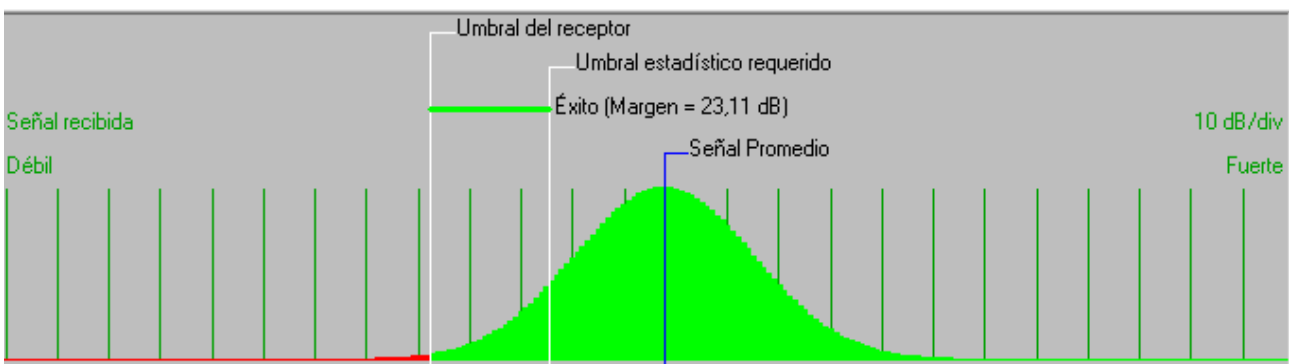


Figura 60. Distribució enllaç Repetidor LTE – Telèfon Mòbil 1

- Connexió Base LTE – Terminal Mòbil 3 (Sarrià amb Diagonal)

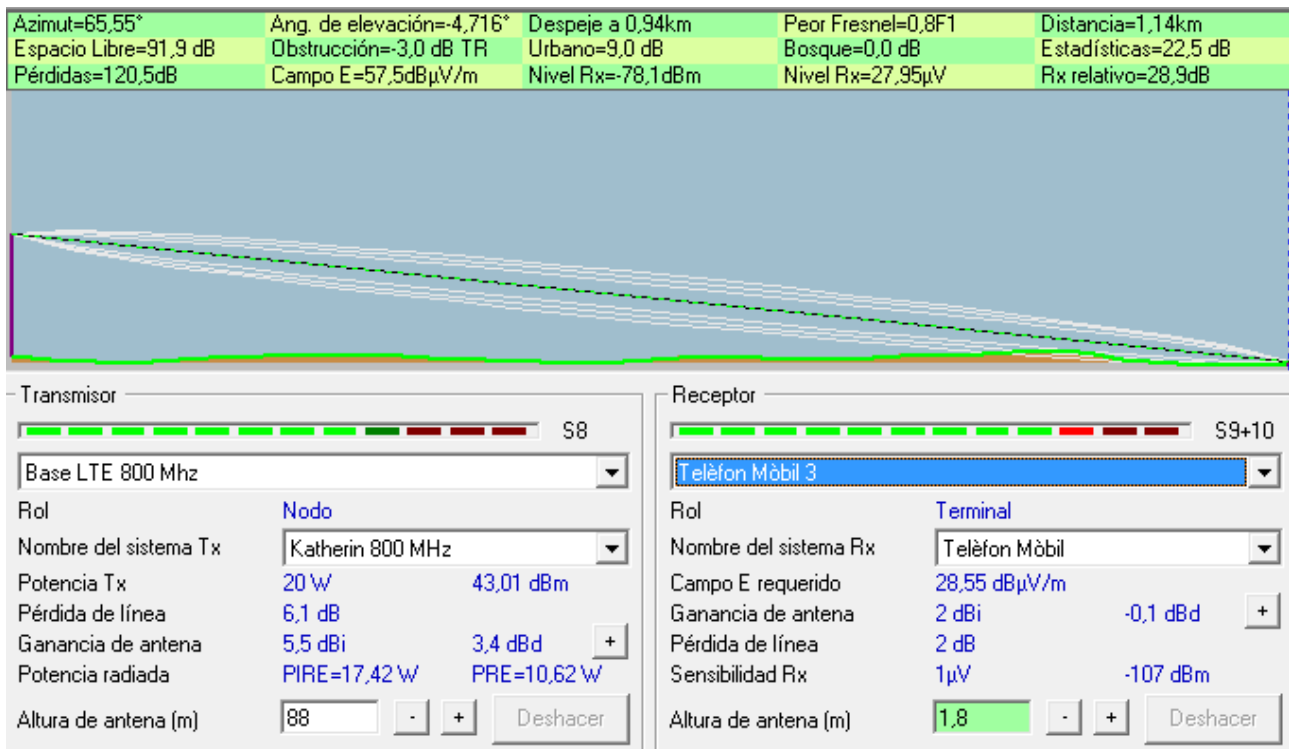


Figura 61 . Resultat Base LTE – Telèfon Mòbil 3

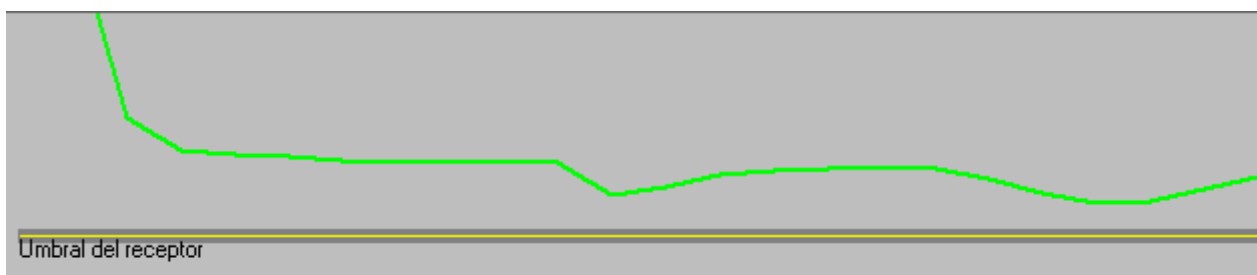


Figura 62 . Llinar del receptor Telèfon Mòbil 3

La distancia entre Base LTE 800 Mhz y Telèfon Mòbil 3 es 1,1 km (0,7 miles)  
 Azimut norte verdadero = 65,55°, Azimut Norte Magnético = 65,22°, Ángulo de elevación = -4,7158°  
 Variación de altitud de 11,7 m  
 El modo de propagación es línea de vista, mínimo despeje 0,8F1 a 0,9km  
 La frecuencia promedio es 826,500 MHz  
 Espacio Libre = 91,9 dB, Obstrucción = -3,0 dB TR, Urbano = 9,0 dB, Bosque = 0,0 dB, Estadísticas = 22,5 dB  
 La pérdida de propagación total es 120,5 dB  
 Ganancia del sistema de Base LTE 800 Mhz a Telèfon Mòbil 3 es de 149,4 dB  
 Ganancia del sistema de Telèfon Mòbil 3 a Base LTE 800 Mhz es de 130,4 dB  
 Peor recepción es 9,9 dB sobre el señal requerida a encontrar  
 90,000% de tiempo, 90,000% de situaciones

Figura 63 . Detalls connexió Base LTE – Telèfon Mòbil 3

## 7.3 Fase d'Optimització

Es tracta de la fase final en la que es comprova el rendiment del que s'ha instal·lat : anàlisi de protocols, estudi del rendiment de les trucades, estudis complets de Drive Test para l'optimització i millora de la xarxa.

### 7.3.1 Drive Test

Un vegada realitzada la simulació, es pot observar que la col·locació de l'antena com del repetidor per donar cobertura al tram seleccionat de l'avinguda Diagonal, és correcta i idònia, però, encara falta comprovar que la xarxa compleix amb els requisits de QoS desitjats per part del operador de telefonia mòbil.

Drive Test és un programari que realitza un anàlisi minucios de les xarxes de telefonia mòbil, independentment de la seva tecnologia (GSM, CDMA, UMTS, LTE ...).

Aquest programa és fonamental en el treball d'un professional del sector de les telecomunicacions ja que dona informació sobre la implantació i sobre el desplegament de la tecnologia elegida.

Es basa en realitzar un prova de conducció en el lloc on es vol realitzar o s'ha realitzat la implementació, per això es necessita :

- Vehicle que ens permeti realitzar el recorregut
- PC portàtil o hardware similar (1)
- Programari Drive Test instal·lat (2)
- Mòdem USB LTE (3)
- Terminal mòbil LTE (4)
- GPS (5)
- Escàner (6)

La figura 64, mostra un petit esquema de la connexió de tots els elements :

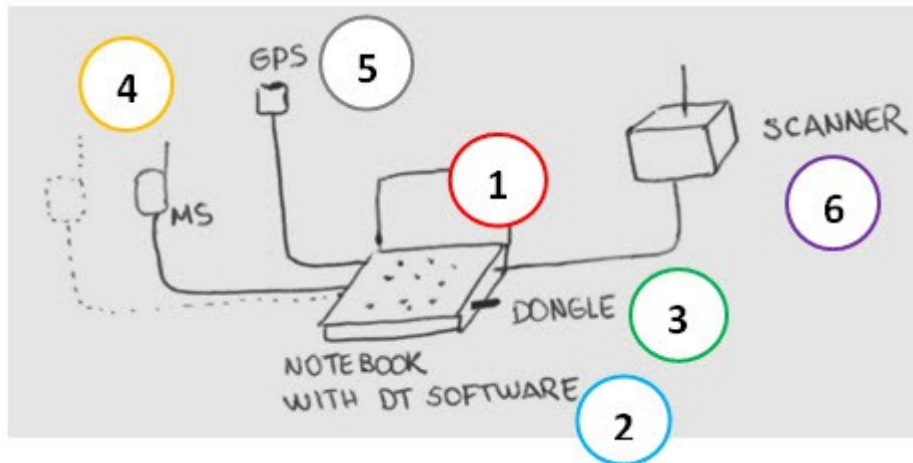


Figura 64. Connexió necessària per utilitzar Drive Test

El motiu de la prova és la recopilació de dades en moviment i en temps real.

Els principals elements que intervenen en la recopilació de dades són :

*GPS* : S'encarrega de recopilar informació com la latitud, la longitud, velocitat...

*Telèfon Mòbil* : S'encarrega de recopilar informació com la intensitat de senyal o el millor servidor

*Escàner* : És opcional i complementa la recopilació de dades de la xarxa mòbil que no es capaç de fer el telèfon.

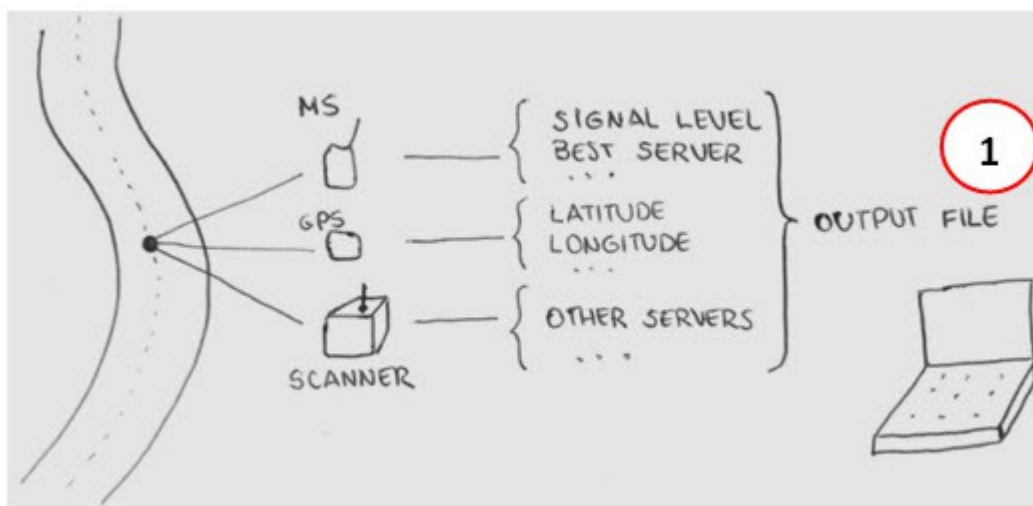


Figura 65. Funcionament de la recopilació de dades



Hi han varies proves que podem realitzar amb aquest programari. Les principals són :

- Anàlisi de rendiment
- Integració de noves superfícies
- Modificació de paràmetres de superfícies existents
- Proves de Marketing (Comparació amb la competència)
- Bancs de proves (Benchmarks)

En el cas que es planteja en el aquest projecte, es realitzaria l'anàlisi de rendiment de la xarxa que es basaria en benchmarking (*banc de proves*) de cobertura LTE en la banda dels 800 MHz, velocitats de descàrrega i pujada, a més a més, d'estudiar la interopeabilitat amb tecnologies anteriors com la HSPA+ implantada en la zona anteriorment.

Aquestes proves es realitzarien en cinc punts que es consideren importants ja que són carrers amb aflluència d'usuaris, els punts són els que es poden apreciar en la figura 66 :



**Figura 66. Punts estratègics per la realització de bancs de proves**

1 - *Plaça Maria Cristina* : 41° 23' 18.1066" N, 2° 7' 38.6470" E

2 - *Ronda del Mig / Avinguda Sarrià* : 41°23'32.34"N, 2° 7'51.18"E

3 - *Carrer Numància / Travessera de les Corts* : 41°23'11.97"N, 2° 8'5.16"E

4 – *Plaça Francesc Macià* : 41° 23' 33.0585" N, 2° 8' 38.1277" E

5– *Avinguda Josep Tarradelles* : 41°23'11.45"N, 2° 8'34.94"E

Les proves a realitzar en la fase d'optimització són les següents :

### **7.3.2 Anàlisi de la velocitat**

La velocitat està afectada, no solament, per el nivell de soroll RSRP, sinó que també per els amples de banda de transmissió, la qualitat de la senyal RSRQ, paràmetres de configuració... etc.

S'han de realitzar proves de velocitat com HTTP, enviament i recepció de correu electrònic i FTP, per exemple. Els resultats que s'han d'obtenir han de ser superiors a las que es tenen amb xarxes UMTS.

### **7.3.3 Retards**

Un dels criteris importants a l'hora de realitzar el disseny d'una xarxa LTE és que aquesta tingui el menys retard possible. Les latències impacten negativament en la percepció de l'usuari, i no solament pel retard en iniciar-se la connexió de dades, sinó que és important en alguns serveis com el joc online o transmissió de vídeo / àudio en temps real.

A més a més, LTE al ser una xarxa completament de paquets, es imprescindible disposar de retards els menys baixos possibles per poder oferir serveis de veu sobre paquets en el futur, com és el cas de VoLTE, explicada anteriorment en aquest projecte.

Per tant, és important la realització d'anàlisis que detectin i millorin la qualitat de la xarxa en aquest aspecte.

### **7.3.4 CS Fallback i retorn**

Com s'ha comentat anteriorment, el servei de veu no funciona sobre LTE si no que la trucada és redirigida a una altra tecnologia com el 3G (UMTS). És el que s'anomena com CS Fallback.

Una de les proves consistiria en realitzar una bateria de trucades per analitzar aquest procés, tenint l'objectiu d'observar que les trucades es traspassen a 3G correctament sense caigudes i amb retards poc perceptibles.

Una vegada finalitzada la trucada, el terminal de l'usuari ha de retornar a cobertura LTE immediatament encara que existeixi una sessió de dades en curs. Per tant, una bona parametrització e implementació faria que el terminal mòbil tornés a immediatament a disposar de LTE.

### **7.3.5 Conclusions de les anàlisis**

La xarxa desplegada ha de mostrar millores respecte a la xarxa HSPA+ implementada anteriorment en la zona d'anàlisi. Aquestes millores són : velocitat i latència.

El compliment per part de l'operador de les proves anteriorment esmentades marcaria un salt qualitatiu en l'experiència dels usuaris i en l'ús de les xarxes mòbils.



## 8. Pressupost i viabilitat econòmica

Implementar LTE en qualsevol zona requereix a part d'una fase de planificació i desplegament, l'inversió del operador en una sèrie de elements que componen la infraestructura de la xarxa LTE.

A continuació, en la figura 67 es detalla els equips que formen la xarxa LTE :

<i>Equips LTE</i>	<b>Quantitat</b>	<b>Preu / unitat</b>	<b>Total</b>
<b>Estació Base Katherin 84010510</b>	1	50.000,00 €	50.000,00 €
<b>Repetidor LTE</b>	1	25.000,00 €	25.000,00 €
<b>Antenes</b>	4	1.000,00 €	4.000,00 €
<b>Radio Enllaç</b>	2	20.000,00 €	20.000,00 €

**Figura 67. Pressupost Equips LTE**

Aquests equips utilitzen una infraestructura per poder operar :

<i>Infraestructura</i>	<b>Quantitat</b>	<b>Preu / unitat</b>	<b>Total</b>
<b>Protecció contra llamps</b>	2	300,00 €	600,00 €
<b>Posada a Terra</b>	2	1.200,00 €	2.400,00 €

**Figura 68. Pressupost Infraestructura**

S'ha d'especificar que el número d'antenes són 4 ja que s'utilitzaria la tècnica MIMO amb una configuració de 2x2, per tant, en el enodeB hi hauria 2 antenes i en el repetidor situat en la plaça Francesc Macià unes altres 2, per tant, el total serien 4.

El desplegament de la tecnologia LTE en aquest tram de l'avinguda Diagonal, per part de l'operador, comportaria una inversió que suma un total de 102.900€, sense sumar la despesa de mà d'obra i les llicències municipals per la instal·lació dels equips.

Però al ser un tram de molta afluència de gent, l'operador en poc temps recuperaria l'inversió i obtindria beneficis utilitzant els recursos de la xarxa desplegada.

En el cas de trucades de veu, es cobraria pel temps d'ocupació dels recursos de la xarxa (minuts de trucades) i inclús amb el cobrament de establiments de trucada.

Referent als plans de dades, són tarifes planes que ofereixen una certa quantitat de dades que, una vegada arribat al que s'ha contractat, es redueix la velocitat de transmissió a 32 / 64 Kbps, proporcionant un alliberament d'amplada de banda i la no saturació de la xarxa per part dels clients.

## 9. Conclusions del projecte

El LTE o 4G com es coneix comercialment, suposa una clara millora en taxes de transmissió de dades respecte a generacions anteriors, per tant, l'objectiu del projecte és l'implementació de la tecnologia LTE en una àrea específica de Barcelona, és per això que es realitza una simulació, es detalla quines fases interven i que consisteixen cadascuna d'elles.

Així mateix es fa una introducció per conèixer l'història dels sistemes de comunicació mòbils, des de que van aparèixer fins a l'actualitat, com han anat evolucionant les seves característiques tècniques i que ens ofereixen els sistemes actuals.

En la migració s'aprofita la localització de l'infraestructura existent, ja que, és adequada pel sistema mòbil anterior.

El desplegament d'una xarxa en l'avinguda Diagonal es realitza, tenint en compte una sèrie de dificultats, com el desconeixement d'on estan situats realment tots els dispositius necessaris per realitzar la migració d'un sistema de tercera generació com és HSPA+ a LTE.

La proposta de desplegament realitzada amb el programari Radio Mobile del LTE és adequada per donar abast en la zona seleccionada de l'avinguda Diagonal amb l'instal·lació del enodeB i el repetidor en dos dels edificis més alts que hi ha en el tram elegit. Aquests edificis són : l'edifici de "La Caixa" i l'edifici "Godó" en les places Maria Cristina i Francesc Macià respectivament.

Dins del desplegament proposat comentar que és complicat saber els preus que tenen els dispositius que formen l'infraestructura d'una xarxa LTE ja que és una informació que tant els operadors de telecomunicacions com els fabricants no faciliten, per tant el que s'ha fet es estimar uns valors econòmics segons tecnologies anteriors.

En un futur pròxim es podrà gaudir d'aquest servei en gairebé qualsevol població del país. Però la tecnologia no descansa i mentre es realitza poc a poc el desplegament de la tecnologia, els operadors de telefonia mòbil conjuntament amb els fabricants ja estudien i realitzen proves de com hauran de ser els sistemes de comunicació de cinquena generació.

## 10. Agraïments

Han sigut anys d'esforços i sacrifici, inclús de llançar la tovallola moltes vegades, però ha valgut totalment la pena ja que estic arribant al final, un final que no hagués estat possible sense l'ajuda dels meus pares Victoriano i Matia Teresa.

Gràcies per el vostre amor, comprensió i ajuda, sense vosaltres no seria qui sóc ni on sóc.

També vull agrair a tots els professors i companys de la UOC, especialment a Jaume Beneded, el meu tutor, gràcies perquè sempre que m'he ficat en contacte amb vostè, sempre m'ha solucionat els problemes que hagi pogut tenir. També al meu consultor Antoni Morell, per les seves indicacions a l'hora de realitzar aquest projecte final de carrera.

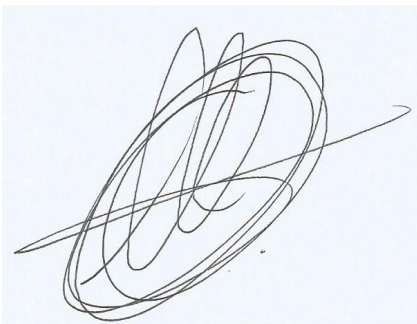
Als meus professors particulars, Gabi Sanvicens i Quim Badia, gràcies als dos per la paciència, per el suport i sobretot gràcies per acompanyar-me i ajudar-me a complir un objectiu que fa anys enrere no hagués ni tan sols somiat que arribaria a complir.

Vull donar el meu agraïment a una noia molt especial, Neus Farré, per la teva ajuda, la teva paciència i perquè sempre estàs al meu costat per donar-me suport.

No em vull acomiadar, sense abans, ficar una cita de *Carlos Cortez* que m'ha acompanyat en aquests anys que m'he demostrat a mi mateix, que qualsevol empresa es pot realitzar amb esforç, paciència i dedicació, per molt difícil que sembli.

***"El éxito se alcanza convirtiendo cada paso en una meta y cada meta en un paso"***

Gràcies a tots.



***Víctor Buján Fernández***

## 11. Bibliografía

- Hacia la tercera generación en Sistemas de Comunicación Móvil - Universidad de las Américas Puebla (México)
- Comunicaciones Móviles Terrenales – José Antonio Guerra Expósito – Universidad Carlos II de Madrid
- Sistema de Comunicaciones Electrónicas – T.Wayne – 4a Edición – Prentice Hall – México
- Generations of Wireless Communications – Abhi Sharma
- Evolution of Mobile Communications: from 1G to 4G - V.Pereira & T.Sousa - Dep. Informatic Engineering - University of Coimbra
- First Generation Cellular – D.Tipper – Graduate Program in Telecommunications - University of Pittsburgh
- Introduction to 3G Mobile Communications – J.Korhonen – 2003 - Norwood: Artech House, Inc.
- Sistemas CDMA: cdmaOne, cdma200 – J.Tecuanhuehue – 2006 - Puebla, México
- LTE. The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice – S.Sesia, I.Toufik, M.Baker – 2009- Chichester: Wiley.
- Tutorial de Radio Mobile – Grupo de Radiocomunicación – Departamento SSR – ETSIT – Febrero del 2007
- Manual de Uso de Radio Mobile – Patricia García Garnacho – Junio 2006
- Manual de Cálculo de Coberturas con Radio Mobile – Ismael Pallejero – Versión 3.1
- Radio Mobile Tutorial – Ian D.Brown – July 2009