

UNA REVISIÓN DE LA EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LOS ESTÁNDARES
DE LA TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

LUIS GABRIEL SILVA OTERO

LAURA PATRICIA VELA REYES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECÁNICAS

ESCUOLA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y DE
TELECOMUNICACIONES

ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2013

UNA REVISIÓN DE LA EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LOS ESTÁNDARES
DE LA TELEFONÍA MÓVIL CELULAR

LUIS GABRIEL SILVA OTERO

LAURA PATRICIA VELA REYES

Monografía presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Telecomunicaciones

DIRECTOR:

ERNESTO AGUILERA

CODIRECTOR:

CESAR CAMILO RODRIGUEZ SANCHEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECÁNICAS

ESCUOLA DE INGENIERIAS ELECTRICA, ELECTRONICA Y DE
TELECOMUNICACIONES

ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2013

DEDICATORIA

A nuestros padres que siempre han apoyado cada uno de los proyectos que hemos emprendido en nuestras carreras profesionales.

A todos los que nos motivaron para hacer esta Especialización.

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Ernesto Aguilera por permitirnos trabajar en su grupo de investigación y el apoyo en la elaboración de este documento.

Al Ingeniero Cesar Camilo Rodríguez que nos guió de una manera incondicional en el proyecto que emprendimos.

A nuestros padres por su apoyo incondicional y su profundo amor.

CONTENIDO

INTRODUCCION	21
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
2 OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVO GENERAL	24
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	24
3 JUSTIFICACION	25
4 GENERALIDADES	26
5 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TELEFONIA MOVIL CELULAR	30
5.1 FRECUENCIA.	30
5.2 EL ESPECTRO RADIOELECTRICO	32
5.2.1 <i>Radiofrecuencia</i>	34
5.3 PROPIEDADES DE LAS ONDAS	38
5.3.1 <i>Refracción</i>	39
5.3.2 <i>Reflexión</i>	39
5.3.3 <i>Interferencia</i>	41
5.3.4 <i>Difracción</i>	41
5.4 MODULACIÓN	42
5.4.1 <i>TIPOS DE MODULACIÓN</i>	43
5.5 MODULACIÓN DIGITAL	44
5.5.1 <i>Amplitude shift keying (ASK)</i>	44
5.5.2 <i>Frequency shift keying (FSK)</i>	44
5.5.3 <i>Phase shift keying (PSK)</i>	45
5.6 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.	46

5.6.1	TDMA	46
5.6.2	FDMA	47
5.6.3	CDMA	48
5.7	ANCHO DE BANDA	51
5.8	REUSO DE FRECUENCIAS	51
5.8.1	<i>Interferencia co- canal</i>	53
5.9	RADIO CELDA	53
5.10	COBERTURA	54
6	TECNOLOGIAS SALIENTES (2G)	57
6.1	SISTEMAS ANALÓGICOS	57
6.1.1	AMPS	57
6.1.2	SISTEMAS NMT 450/900 Y (E) TACS 900	59
6.2	SISTEMAS DIGITALES	60
6.2.1	D-AMPS	60
6.2.2	GSM	64
6.2.3	CDMA	84
7	TECNOLOGÍAS IMT-2000 (3G)	89
7.1	UMTS	93
7.1.1	ORIGENES DE UMTS	93
7.1.2	AVANCES HACIA UNA NORMA COMÚN	94
7.1.3	CLASES DE SERVICIO UMTS	95
7.1.4	ACCESS STRATUM (AS) Y NON ACCESS STRATUM (NAS)	99
7.1.5	UMTS Release 99	101
7.1.6	UMTS Release 4	103
7.1.7	UMTS Release 5 (HSDPA)	106
7.1.8	UMTS Release 6 (HSUPA)	112
7.1.9	UMTS Release 7 (HSPA +)	114
7.2	CDMA2000	115

7.2.1	ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO (IS-2000)	115
7.2.2	CAPA FÍSICA	116
7.2.3	MEDIA ACCESS CONTROL (MAC)	116
7.2.4	LAYER ACCESS CONTROL (LAC)	116
7.2.5	CAPA SUPERIOR (capa 3)	117
7.2.6	USO DE CANALES EN IS-2000	117
8	TECNOLOGÍAS 4G	121
8.1	REQUISITOS DE LA CUARTA GENERACIÓN	122
8.2	MODELO DE LA CUARTA GENERACIÓN INALÁMBRICA	124
8.2.1	<i>Redes de túneles</i>	124
8.2.2	<i>Redes híbridas</i>	124
8.2.3	<i>Redes heterogéneas</i>	125
8.2.4	<i>Unidad de tecnología híbrida (HU)</i>	127
8.3	LTE	128
8.3.1	<i>OFDMA</i>	129
8.3.2	<i>Arquitectura LTE</i>	130
8.4	NORMA MUNDIAL DE LA UIT PARA COMUNICACIONES CELULARES: IMT-AVANZADAS	138
8.5	LTE ADVANCED	139
8.5.1	<i>Arquitectura de la red</i>	140
8.5.2	<i>E-UTRAN para LTE-Advanced</i>	141
8.5.3	<i>Vision del Evolved Packet Core</i>	145
8.5.4	<i>Mobility Management Entity (MME)</i>	145
8.5.5	<i>Serving Gateway (S-GW)</i>	146
8.5.6	<i>Packet Data Network Gateway (PDN-GW)</i>	146
8.6	ESPECTRO Y LA GESTIÓN DE ANCHO DE BANDA	146
8.7	SUBASTA DEL ESPECTRO PARA 4G EN COLOMBIA 2013	147
9	CONCLUSIONES	150
	REFERENCIAS BLIOGRAFICAS	151

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. UIT, Base de datos sobre indicadores mundiales de las telecomunicaciones.</i>	27
<i>Figura 2. Proporción de hogares que poseen servicio de teléfono celular y telefonía fija, total nacional, cabecera y resto del país. Año 2012. 6p.</i>	28
<i>Figura 3. Relación inversa entre frecuencia y longitud de onda.</i>	31
<i>Figura 4. Componentes de la comunicación.</i>	34
<i>Figura 5. Espectro Electromagnético.</i>	36
<i>Figura 6. Espectro radioeléctrico asignado a los operadores de telefonía móvil celular en las bandas de 800 y 1900 MHz.</i>	37
<i>Figura 7. Espectro radioeléctrico asignado al operador PCS en la banda de 1900 MHz.</i>	38
<i>Figura 8. Refracción en una frontera plana entre dos medios.</i>	39
<i>Figura 9. Reflexión electromagnética en una frontera plana de dos medios.</i>	40
<i>Figura 10. Reflexión sobre una superficie semiáspora.</i>	40
<i>Figura 11. Interferencia de ondas electromagnéticas.</i>	41
<i>Figura 12. Difracción de ondas electromagnéticas, principio de Huygens.</i>	42
<i>Figura 13. Esquema de modulación.</i>	43
<i>Figura 14. Modulación utilizando FSK.</i>	45
<i>Figura 15. Modulación utilizando PSK.</i>	46
<i>Figura 16 Ejemplo para un sistema de 4 usuarios en TDMA.</i>	47
<i>Figura 17. Ejemplo para un sistema de 3 canales en FDMA.</i>	48
<i>Figura 18. Señal de espectro expandido.</i>	49
<i>Figura 19 Reúso de frecuencias.</i>	52
<i>Figura 20. Radio celdas.</i>	54
<i>Figura 21. Sistema Celular.</i>	55

<i>Figura 22 Concepto de Celdas.</i>	56
<i>Figura 23. Concepto de FDMA/FDD en AMPS.</i>	58
<i>Figura 24. Frecuencias ascendente y descendente utilizadas por los sistemas analógicos en Estados Unidos, Europa (TACS y NMT) y Japón.</i>	59
<i>Figura 25. (a) Un canal D-AMPS con tres usuarios. (b) Un canal D-AMPS con seis usuarios.</i>	62
<i>Figura 26. Salto de Canal (Channel Hop)</i>	64
<i>Figura 27. Arquitectura de la red GSM.</i>	66
<i>Figura 28. GSM utiliza 124 canales de frecuencia, cada uno de los cuales utiliza un sistema TDM de ocho ranuras.</i>	68
<i>Figura 29. Parte de la estructura de entramado GSM</i>	70
<i>Figura 30. Interfaces de la red GSM</i>	71
<i>Figura 31. Modelo de señalización GSM</i>	72
<i>Figura 32. Sistemas analógicos y digitales más comunes, mostrando la convergencia hacia un sistema único</i>	73
<i>Figura 33. Suscriptores de telefonía celular del mundo (septiembre 2012)</i>	74
<i>Figura 34. Arquitectura lógica de la red GPRS</i>	75
<i>Figura 35. El cálculo de autenticación GPRS.</i>	80
<i>Figura 36. Convergencia de los diferentes estándares para EDGE</i>	82
<i>Figura 37. Árbol genealógico de varias tecnologías CDMA</i>	87
<i>Figura 38. Línea de Tiempo de IMT-2000</i>	95
<i>Figura 39. Arquitectura de red GSM</i>	99
<i>Figura 40. Access Stratum and Non-Access Stratum</i>	100
<i>Figura 41. Arquitectura de red UMTS Rel. 99</i>	101
<i>Figura 42. Arquitectura de Red UMTS Rel. 4.</i>	104
<i>Figura 43. HSDPA Scheduling y el Link adaptation se llevan a cabo en el Nodo B.</i>	107
<i>Figura 44. Arquitectura Básica UMTS Rel. 5</i>	110

<i>Figura 45. N -3GPP UMTS Rel. 6 Network Model</i>	113
<i>Figura 46. MIMO en HSPA+.</i>	114
<i>Figura 47. Tasa de Spreading 1. Tasa Chip de 1.2288 Mcps, ocupados a un ancho de banda en RF de 1.25Mhz.</i>	119
<i>Figura 48. Arquitectura de la red inalámbrica de cuarta generación</i>	126
<i>Figura 49. FDMA y SC-FDMA</i>	130
<i>Figura 50. Arquitectura de LTE</i>	131
<i>Figura 51. Arquitectura del UE</i>	131
<i>Figura 52. Arquitectura del Evolved UMTS Terrestrial RAN</i>	132
<i>Figura 53. Principales componentes de EPC.</i>	134
<i>Figura 54. Arquitectura e interfaces de la EUTRAN</i>	136
<i>Figura 55. EPS para accesos 3GPP</i>	141
<i>Figura 56. Arquitectura de LTE-Advanced y E-UTRAN</i>	142
<i>Figura 57. Pilas de Protocolos</i>	143
<i>Figura 58. Adjudicación de espectro para 4G en Colombia 2013</i>	148

GLOSARIO

3GPP: 3rd Generation Partnership Project, es una colaboración de grupos de desarrollo de estándares de telecomunicaciones (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TTC), el objetivo inicial del 3GPP era asentar las especificaciones de un sistema global de comunicaciones de 3G para móviles basándose en las especificaciones del sistema evolucionado GSM.

3GPP2: Proyecto Asociación de Tercera Generación 2 (3GPP2), tiene por objetivo la especificación de los estándares de la tecnología 3G basada en el sistema IS95 (CDMA), y que es más conocido por el acrónimo CDMA2000.

Abonado: Persona que, mediante cuota, tiene derecho a un servicio continuado o periódico.

Banda base: El término banda base, se refiere a la banda de frecuencias producida por un transductor, tal como un micrófono, un manipulador telegráfico u otro dispositivo generador de señales que no es necesario adaptarlo al medio por el que se va a transmitir.

Bit: (Binary digit) El bit es la unidad mínima de información empleada en informática, en cualquier dispositivo digital.

DS-CDMA: Acceso múltiple por división de código en secuencia directa.

ETSI: (European Telecommunications Standards Institute) es una organización de estandarización de la industria de las telecomunicaciones (fabricantes de equipos y operadores de redes) de Europa, con proyección mundial.

Frame Relay: Es una técnica de comunicación mediante retransmisión de tramas para redes de circuito virtual, introducida por la ITU-T.

Handover: (también Handoff) es el sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

IMT: (International Mobile Telecommunications).

IPR: (Intellectual Property Rights) Derechos de Propiedad Intelectual.

MS: (Mobile Station), comprende todo el equipo de usuario y el software necesarios para la comunicación con una red móvil.

MTSO: (Mobile Telephone Switching Office), es el equivalente de una Oficina Central PSTN para Telefonía Móvil. La función de MTSO es controlar el procesamiento y establecimiento de llamadas así como la realización de llamadas, lo cual incluye señalización, supervisión, conmutación y distribución de los canales de RF.

Modelo OSI: (Open System Interconnection) es el modelo de red descriptivo, que fue creado por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO).

MC/CDMA: (Multi-Carrier Code Division Multiple Access) El Acceso múltiple por división de código de múltiples portadoras es un esquema de acceso múltiple basado en OFDM, permitiendo soportar múltiples usuarios al mismo tiempo en un sistema.

OHG: (Operators Harmonization Group) es un consorcio de empresas proveedoras inalámbricas destinadas a promover un estándar unificado para las operaciones y sistemas inalámbricos con el fin de facilitar el desarrollo de las redes 3G en todo el mundo.

PCM: (Pulse Code Modulation), es un procedimiento de modulación utilizado para transformar una señal analógica en una secuencia de bits (señal digital).

RF: El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 kHz y unos 300 GHz.

Roaming: También llamado itinerancia, es un concepto utilizado en comunicaciones inalámbricas que está relacionado con la capacidad de un dispositivo para moverse de una zona de cobertura a otra.

TIC: Las tecnologías de la información y la comunicación a veces denominadas nuevas tecnologías de la información y la comunicación (NTIC) son un concepto muy asociado al de informática.

UE: (User equipment), comprende todo el equipo de usuario y el software necesarios para la comunicación en los sistemas UMTS y LTE.

UIT: La Unión Internacional de Telecomunicaciones, es el organismo especializado de Telecomunicaciones de la Organización de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

WLAN: (Wireless Local Area Network), es un sistema de comunicaciones inalámbricas flexibles, utilizadas como alternativa a las redes de área local cableadas o como extensión de éstas.

RESUMEN

TITULO: UNA REVISIÓN DE LA EVOLUCIÓN CRONOLÓGICA DE LOS ESTÁNDARES DE LA TELEFONÍA MÓVIL CELULAR*

AUTORES: LUIS GABRIEL SILVA OTERO; LAURA PATRICIA VELA REYES**

PALABRAS CLAVES: Radio Frecuencia, Espectro radioeléctrico, GSM, UMTS, 4G, LTE.

Con el fin de tener un documento con información confiable y completa se hizo una revisión a los estándares de la telefonía móvil celular. Esto, con el fin de que personas que estén interesadas en ampliar sus conocimientos y/o que trabajen en el medio y no sean especialistas en el tema puedan en un solo documento que tiene la información consolidada y con fuentes fiables poder profundizar y comprender temas que son de actualidad y requieren de conceptos básicos.

Primero se hizo una introducción a los conceptos básicos de física asociados a la telefonía móvil, como las propiedades de las ondas, la modulación, frecuencia, entre otros, para que el lector tenga claros conceptos que se necesitan para comprender cada uno de los estándares de la telefonía móvil que se presentan.

Se hace referencia a los estándares salientes y la evolución que han tenido; debido a que con los avances tecnológicos se presentan mejoras, se realizó una revisión de la próxima generación de telefonía móvil celular 4G y su relación con las anteriores.

Finalmente, cabe resaltar que esta monografía está basada en documentos obtenidos en bases de datos y fuentes bibliográficas de organizaciones internacionales y gubernamentales que regulan las telecomunicaciones móviles.

* Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director Ernesto Aguilera. Codirector Cesar Camilo Rodríguez

ABSTRACT

TITLE: A REVIEW OF TIMELINE DEVELOPMENTS OF STANDARDS OF CELLULAR PHONE NETWORKS*

AUTHORS: LUIS GABRIEL SILVA OTERO; LAURA PATRICIA VELA REYES**

KEYWORDS: Radio frequency, Radio spectrum, GSM, UMTS, 4G, LTE.

In order to have a document with reliable and comprehensive information were revised the standards of mobile phone. This, so that people who are interested in expanding their knowledge and / or work in the topic and are not specialists in the field can in a single document that has consolidated information and from reliable sources to deepen and understand current issues and basic concepts.

First, an introduction to the basic concepts of physics associated with mobile telephony, like the properties of waves, modulation, frequency, among others, to provide the reader with clear concepts needed to understand each of the standards mobile telephony presented.

Reference is made to the outgoing standards and developments have had, because with technological improvements occur, we conducted a review of next generation 4G mobile phone and its relation to the above.

Finally, it should be noted that this paper is based on documents obtained from databases and literature sources of international and governmental organizations that regulate mobile telecommunications.

*Work Degree

**Faculty of Physical and Mechanical Engineering, Electrical, Electronics and Telecommunication School. Director Ernesto Aguilera. Codirector: Cesar Camilo Rodriguez

INTRODUCCION

La telefonía móvil celular ha tenido mucho auge y desarrollo en los últimos años, desde sus inicios a comienzos de los 70s, cuándo Motorola presentó un prototipo del primer teléfono celular portátil del mundo, el cuál utilizaba el sistema DynaTAC (Dynamic Adaptative Total Area Coverage)[1].

A comienzos de los 80's se presentó la primera red comercial, en la ciudad de Chicago, autorizada por la FCC (Federal Communications Commission) de Estados Unidos que dio vía libre a la compañía AT&T para desarrollar un sistema celular piloto. La telefonía celular fue concebida en sus inicios únicamente para la voz, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época.

La tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otro tipo de servicios tales como: datos, audio y video, pero los servicios de próxima generación buscan aumentar la convergencia y ofrecer una alta gama de contenidos ubicuos por lo tanto requerirá un mayor consumo de ancho de banda así como nuevas técnicas de modulación.

La entrante cuarta generación presta un servicio de alta calidad respecto a las anteriores generaciones; basados en servicios multimedia de banda ancha, minimizando errores en la transmisión de datos, menores costos y mayores comodidades hacia el usuario final, que puede acceder a este en cualquier momento, en cualquier lugar y desde cualquier dispositivo[2].

Las personas que quieren consultar información de tecnología, en muchos casos encuentran dificultad para comprender y asimilar en su totalidad los conceptos y la terminología utilizada. En internet se puede encontrar fácilmente información verídica, pero en ocasiones puede estar tergiversada; lo anterior aplica para el caso específico de la evolución tecnológica de los estándares de la telefonía móvil celular. Inclusive, la información que se extrae de la web muchas veces no está referenciada o fundamentada en artículos o libros de investigación que puedan guiar al lector interesado en el tema de una manera fiable y organizada, así mismo ocurre si se desea tener mayor información de los desarrollos a futuro.

Al leer documentación sin argumentos científicos o de investigación el lector puede perder la motivación al no comprender de forma clara el tema. Por otro lado, el usuario no experto, requiere información más práctica, concreta y de fácil entendimiento que le permita comprender términos de una manera más amigable acerca de las nuevas tecnologías a las que pueda tener acceso.

En busca de una solución a este problema, es necesario realizar una revisión de los conceptos básicos de la telefonía móvil celular necesarios para brindarle facilidad y fiabilidad al usuario que lo requiera y/o se desempeñe en el medio. La solución planteada consta de una explicación general con fundamentación teórica básica permitiendo comprender en totalidad los conceptos y terminología antes encontrados en forma desorganizada y no referenciada. Teniendo en cuenta información actual y los futuros avances tecnológicos de la telefonía móvil celular.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El rápido crecimiento del área de las comunicaciones móviles en los últimos años ha hecho que aparezcan nuevos dispositivos, arquitecturas y tipos de modulación, entre otros; los cuales tienen asociados nuevos estándares y protocolos que deben ser adoptados. Una consecuencia inmediata de este proceso es el surgimiento de nuevos términos y conceptos técnicos que al final deben ser depurados de tal forma que puedan ser absorbidos por una gran diversidad de usuarios. Por ejemplo, dentro de una misma empresa dedicada a brindar servicios de telefonía móvil celular se podría encontrar desde un abogado o un analista de mercados hasta un experto en telecomunicaciones que están obligados a comprenderse mutuamente usando la terminología adecuada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Reunir los contenidos necesarios en temas técnicos de las comunicaciones móviles que sirvan como guía de referencia para un amplio rango de usuarios de diferentes profesiones que se desempeñan en este medio.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Presentar los fundamentos de las comunicaciones móviles celulares.
- Determinar y reunir los materiales relativos a las tecnologías salientes
- Realizar un análisis del nuevo modelo de comunicaciones que impone la tecnología 3G
- Elegir los materiales sobre la tecnología 4G y su relación con las demás.

3 JUSTIFICACION

Existe una variedad de opciones para obtener información acerca de la telefonía móvil celular; esta se puede encontrar en la Internet o por medio de las empresas prestadoras del servicio, incluso, en documentales por televisión, pero si se desea aumentar el grado de confiabilidad de esta información se hace necesario el acceso a bases de datos de importantes empresas o tener un presupuesto para la compra de artículos, revistas y libros que generalmente están redactados en un idioma diferente al nuestro.

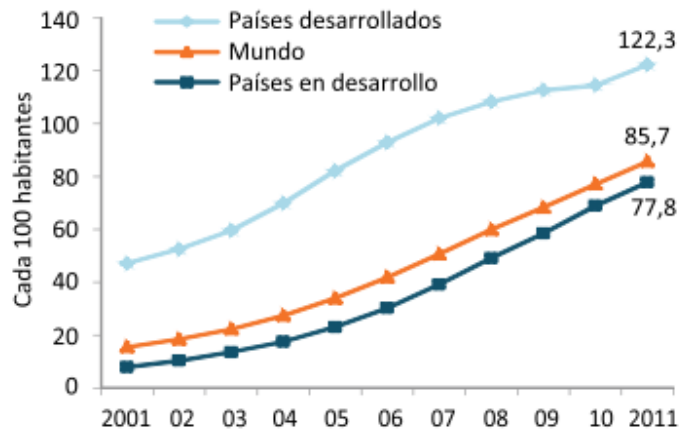
De acuerdo al planteamiento anterior, en muchos casos y circunstancias se hace necesario contar con un documento que contenga la información adecuada, clara, precisa, confiable - bien referenciada-, y actual; que dentro del área de los diferentes estándares que han sido aplicados históricamente en la telefonía móvil celular, y en particular los estándares actuales de las comunicaciones de cuarta generación (4G), pueda ser suministrada de una manera compacta, y en lo posible pedagógica a un amplio rango de usuarios.

4 GENERALIDADES

Según estudios de la oficina de investigación de telecomunicaciones de la UIT, cada vez más países están alcanzando mayor acceso y utilización de las TIC, lo que acelera la difusión de esas tecnologías y aumenta aún más la demanda, impulsada por la expansión de Internet móvil. Entre 2010 y 2011, los abonados al servicio móvil celular registraron un crecimiento continuo de dos dígitos en los mercados de los países en desarrollo, pero se observó una desaceleración general en comparación con años anteriores.

El número de abonados al servicio móvil celular aumentó en más de 600 millones, casi todos ellos en los países desarrollados, a un total de alrededor de 6 mil millones, o sea, 86 de cada 100 habitantes, a nivel mundial. Como se puede apreciar en la Figura 1. China por sí sola alberga mil millones de abonados y se esperaba que la India llegara a mil millones en 2012. La tasa de penetración móvil celular aumentó en un 11% en todo el mundo, en comparación con 13% el año 2011. En general, el aumento del número de proveedores de servicios ha dado lugar a una competencia a veces feroz en el sector y ha hecho bajar los precios al consumidor de manera significativa, lo cual ha sido un factor clave en la propagación de los servicios móviles celulares[3]

Figura 1. UIT, Base de datos sobre indicadores mundiales de las telecomunicaciones.



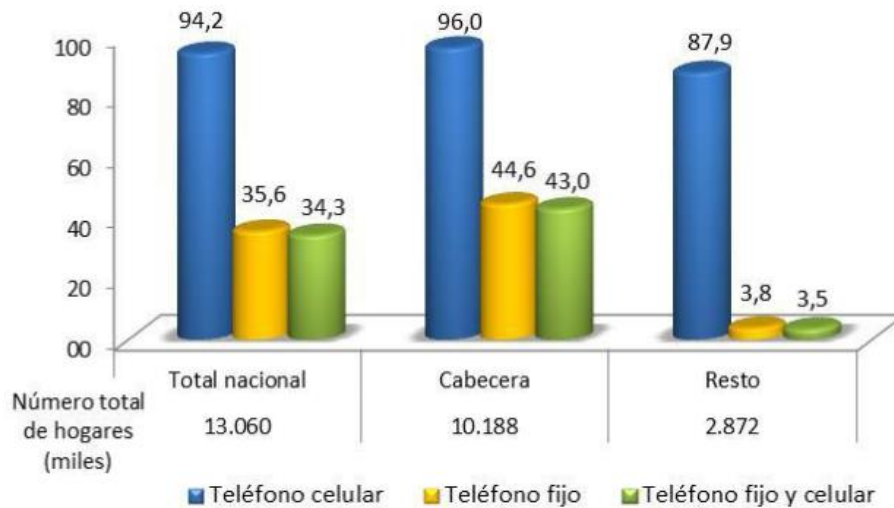
Fuente [3]

Del estudio también se concluyó que, la banda ancha móvil sigue siendo el servicio TIC que presenta las tasas de crecimiento más acentuadas. Entre 2010 y 2011, el crecimiento continuó a un rápido ritmo del 40% a nivel mundial, 23% en los países desarrollados y 78% en los países en desarrollo. Contrariamente a la tasa de penetración móvil celular, aún no se ha alcanzado el punto de saturación de la tasa de penetración de banda ancha móvil y se prevé que su crecimiento continúe a una tasa de dos dígitos durante los próximos años. La aparición de servicios de Internet móvil (tanto de prepago como de pago ulterior) ha sido un factor decisivo en el aumento del número de abonados a la banda ancha móvil en los países en desarrollo, que de este modo pone Internet al alcance de un gran número de usuarios con un acceso limitado a los servicios de banda ancha fija[3].

Para el caso de Colombia el crecimiento de penetración de la telefonía móvil en el mercado, duplica el crecimiento de penetración de la telefonía fija, para el total nacional, el 94,2% de los hogares poseía servicio de telefonía por celular; 96,0% en las cabeceras, y 87,9% en resto. Por otra parte, el 35,6% de los hogares

colombianos poseía teléfono fijo para el total nacional, 44,6% en las cabeceras y 3,8% en resto como indica el DANE en esta investigación publicada el 18 de abril del 2013[4]. Como se observa en la figura 2 [5].

Figura 2. Proporción de hogares que poseen servicio de teléfono celular y telefonía fija, total nacional, cabecera y resto del país. Año 2012. 6p.



Fuente [5]

El crecimiento de la demanda de servicios móviles y el aumento en el sector de la telefonía móvil, supone la supresión de algunos obstáculos y barreras de entrada también ajenas al ámbito empresarial, que puedan evitar la permanencia al mercado y dificultarlo en tal medida que hagan poco activa dicha permanencia, menoscabando las posibilidades en el mercado. Pero hay dificultades que persisten actualmente.

Dentro de los ámbitos que pueden darse esas barreras para mantenerse en el mercado, podemos agruparlas en:

- **Dificultades físicas o construcción de infraestructura de telecomunicaciones propia** que permita llegar de forma directa hasta el

cliente final pudiendo ofrecer servicios a través de una red de comunicaciones alternativa a la del operador dominante[6].

- **Opinión pública en cuanto a la influencia de las radiaciones electromagnéticas** ya que en el último siglo los campos electromagnéticos, y especialmente las radiaciones electromagnéticas en el rango de las radiofrecuencias y microondas, han sido relacionados con diferentes efectos biológicos. En los dos últimos decenios se ha realizado un gran número de estudios para determinar si los teléfonos móviles pueden plantear riesgos para la salud. Hasta la fecha no se ha confirmado que el uso del teléfono móvil tenga efectos perjudiciales para la salud. [7]

Es necesario comprender como funciona una red basada en radio enlaces electromagnéticos específicamente la telefonía móvil ya que esto puede despejar dudas acerca de los miedos que genera la manipulación de espectro radioeléctrico.

5 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA TELEFONIA MOVIL CELULAR

5.1 FRECUENCIA.

Es muy importante iniciar explicando conceptos básicos de terminología en las telecomunicaciones enfocados en la telefonía móvil celular, la Frecuencia es una medida utilizada para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo. Según el sistema internacional de Unidades, se mide en hertzios (Hz). Un kilohertzio equivale a 1000 hertzios, un megahertzio equivale a 1 millón de hertzios y un gigahertzio equivale a 1000 millones de hertzios.

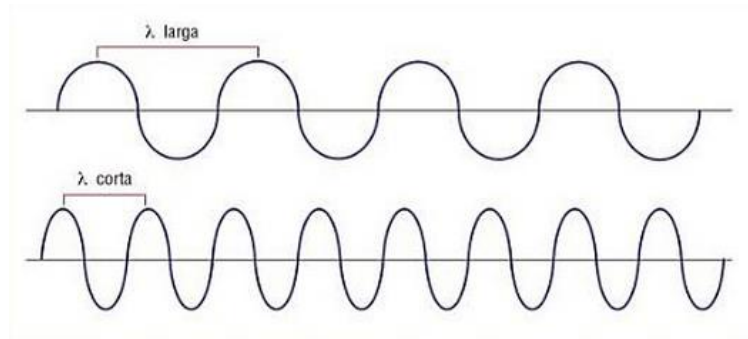
La longitud de onda es la distancia entre dos crestas (parte más alta de una onda) consecutivas, es decir describe lo larga que es la onda. La letra griega λ (lambda) se utiliza para presentar la longitud de onda en ecuaciones. La frecuencia de una onda es inversamente proporcional a su longitud de onda como se observa en la Figura 3 [8].

La relación entre la longitud de onda y la frecuencia la podemos obtener a partir de la fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde, λ representa la longitud de onda, c es la velocidad de las ondas electromagnéticas en el medio en que se transmiten ($3 \cdot 10^8$ m/s en el aire) y f es la frecuencia de la señal que se desea transmitir [9].

Figura 3. Relación inversa entre frecuencia y longitud de onda.



Fuente [9]

La longitud de onda es un parámetro muy importante en las comunicaciones inalámbricas, dado que el dimensionamiento de las antenas está directamente relacionado con la longitud de la onda correspondiente a la frecuencia de emisión del transmisor.

La propagación es el fenómeno físico que conduce las ondas de un transmisor a un receptor, durante la propagación las ondas mantienen contacto permanente con la superficie terrestre como resultado de su movimiento sobre el terreno provoca la aparición de corrientes eléctricas las cuales debilitan la onda original a medida que la misma se aleja de la antena transmisora.

Al aumentar la distancia respecto de la antena transmisora, la amplitud de la onda terrestre disminuye continuamente hasta que se anula. Esto depende de la potencia y de la frecuencia transmitida. A medida que la longitud de onda disminuye, las corrientes inducidas en el terreno debilitan tanto la onda terrestre, que la pérdida total provoca su desaparición [10].

5.2 EL ESPECTRO RADIOELECTRICO

El espectro radioeléctrico es el medio por el cual se transmiten las ondas de radio electromagnéticas, las cuales permiten hacer uso de medios de comunicación como la radio, televisión, Internet, telefonía móvil y televisión digital terrestre, entre otros [11].

Originalmente se denominó espectro al desdoblamiento de la luz blanca en luces de diferentes colores, es decir según sus diferentes longitudes de onda (como el paso de la luz blanca por un prisma); más tarde, el término se aplicó a todas las ondas electromagnéticas, cuyo espectro comprende: las ondas radioeléctricas (largas, medias, cortas, ultracortas, microondas), la luz infrarroja, la luz visible, la ultravioleta, los rayos X, los rayos gamma y los rayos cósmicos. Mientras que el espectro radioeléctrico hace parte del Espectro Electromagnético; en términos prácticos, el espectro radioeléctrico es el conjunto de las ondas electromagnéticas utilizadas en las radiocomunicaciones cuya frecuencia se fija por debajo de por debajo de los 3000 Gigahertz y que se propagan por el espacio sin guía artificial [12]. En la tabla 1, se indica la distribución de las diferentes bandas de frecuencia que componen el espectro radioeléctrico.

Tabla 1. Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de las longitudes de onda utilizadas en radiocomunicaciones.

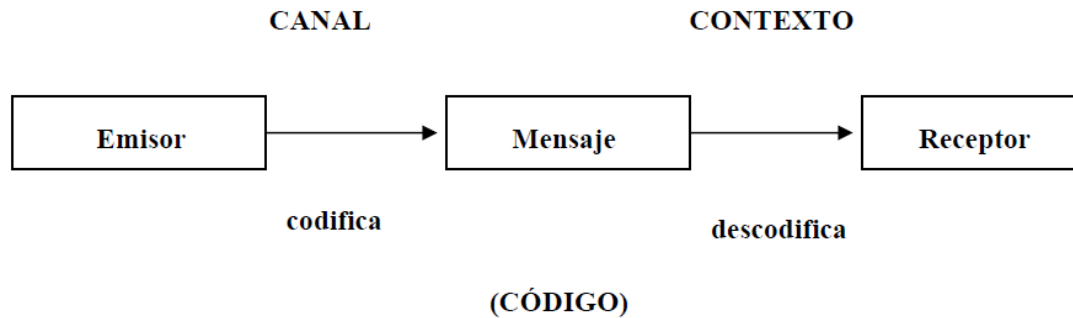
DESCRIPCIÓN DE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS		RANGO DE FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA
Very Low Frequency VLF	Ondas Miriamétricas	3 - 30 kHz	100 - 10 Km.
Low Frequency LF	Ondas Kilométricas	30 - 300 kHz	10 - 1 Km.
Médium Frequency MF	Ondas Hectométricas	300 - 3000 kHz	1 - 0.1 Km.
High Frequency HF	Ondas Decamétricas	3 - 30 MHz	0.1 - 0.01 Km.
Very High Frequency VHF	Ondas Métricas	30 - 300 MHz	0.01 - 0.001 Km.
Ultra High Frequency UHF	Ondas decimétricas	300 - 3000 MHz	0.001 - 0.0001 Km.
Super High Frequency SHF	Ondas centimétricas	3 - 30 GHz	0.0001 - 0.00001 Km.
Extremely High Frequency EHF	Ondas milimétricas	30 - 300 GHz	0.00001 - 0.000001 Km.

Fuente [12]

Para comprender como funciona el concepto de "espectro radioeléctrico" se debe comenzar por asimilar un proceso de comunicación común.

En la comunicación son esenciales 6 factores. Un **emisor**, que genera el mensaje; Un **código**, que es el sistema de referencia con base en el cual se produce el mensaje; El **mensaje**, que es la información transmitida y producida según las reglas del código; El **contexto**, en donde el mensaje se inserta y al que se refiere; Un **canal**, medio físico ambiental que hace posible la transmisión del mensaje y por último un **receptor**, quién finalmente interpreta el mensaje. Como se observa en la Figura 4.[13]

Figura 4. Componentes de la comunicación.



Fuente [13]

Se puede decir que en telefonía móvil el espectro electromagnético viene cumpliendo la función de canal o medio físico ambiental que hace posible la transmisión de los mensajes.

5.2.1 Radiofrecuencia

Otra forma de asociar el manejo del espectro radioeléctrico es comenzar con conceptos básicos como la definición general de una onda, que es la propagación de una perturbación de alguna propiedad de un medio en el espacio. Las ondas se pueden propagar en diferentes medios como ocurre con las ondas de sonido que se propagan a través del aire o incluso las ondas de radio que se propagan en el vacío. Hay dos clasificaciones de ondas las que requieren un medio físico para su propagación se definen como mecánicas y las ondas que pueden propagarse al vacío se definen como electromagnéticas [14].

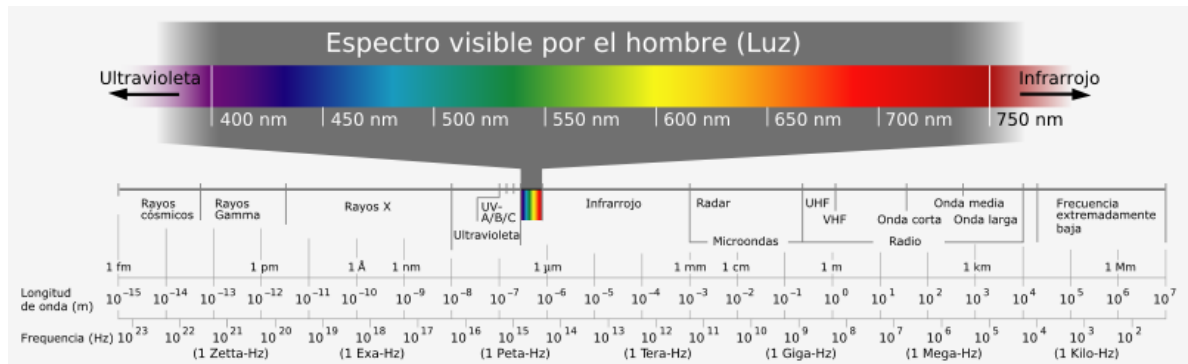
En un sistema de comunicaciones el propósito es enviar y recibir información entre una o más ubicaciones (Generalmente llamadas estaciones). Esto se logra convirtiendo información de la fuente original en energía electromagnética y

después transmitiendo la energía a uno o más destinos, en donde se convierte de nuevo a su forma original. La energía electromagnética puede propagarse en varios modos: Como un voltaje o corriente a través de un cable metálico, como ondas de luz en fibra óptica o como ondas de radio emitidas por el espacio libre.

El concepto de emisión de ondas a través del espacio libre tomó forma después de la investigación realizada por el físico inglés James Clerk Maxwell, se dieron los primeros indicios de que la electricidad y la luz viajan en forma de ondas electromagnéticas y por lo tanto están relacionadas una con otra. La energía electromagnética está distribuida a través de un rango de frecuencias casi infinito, ya que se extiende desde las frecuencias subsónicas hasta los rayos cósmicos. Cada banda de frecuencias tiene una característica única que la hace diferente a las otras bandas [15].

El espectro radioeléctrico es el canal por el cual se transmiten las ondas de radio electromagnéticas, gracias a éste espectro se pueden usar medios como la radio, la televisión, un radioteléfono o un radio-celular también se pueden realizar actividades especializadas como la navegación marítima y aérea así como la comunicación con estaciones espaciales y submarinos [16]. El espectro electromagnético se encuentra subdividido en bandas como se observa en la Figura 5.

Figura 5. Espectro Electromagnético.



Fuente [17]

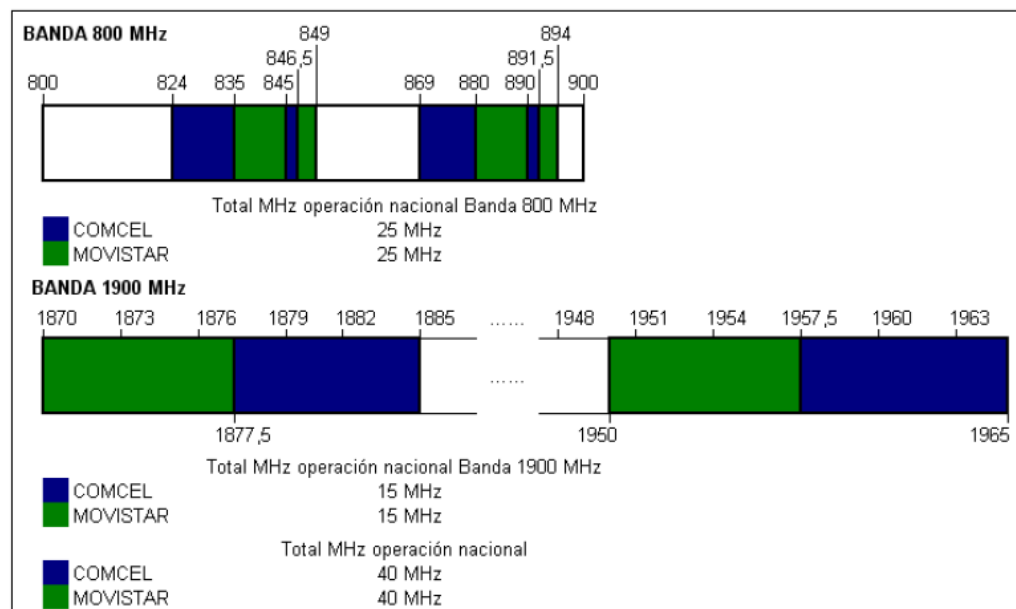
El espectro total de la frecuencia electromagnética está dividido en subsectores o bandas. Cada banda tiene un nombre y límites. En Estados Unidos, las asignaciones de frecuencias para la propagación de radio en espacio libre. Son asignadas por la Comisión Federal de comunicaciones FCC. Las frecuencias exactas asignadas a transmisores específicos funcionando en las diversas clases de servicios están constantemente actualizándose y alterándose, para cubrir las necesidades de comunicación de la nación. Sin embargo la división general del espectro de frecuencia totalmente utilizable se decide en las Convenciones Internacionales de Telecomunicaciones, las cuales son realizadas aproximadamente cada 10 años [18].

En Colombia el uso del espectro radioeléctrico requiere permiso previo, expreso y otorgado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. El permiso de uso del espectro respetará la neutralidad en la tecnología siempre y cuando esté coordinado con las políticas del Ministerio: no generen interferencias sobre otros servicios, sean compatibles con las tendencias internacionales del mercado, no afecten la seguridad nacional y contribuyan al desarrollo sostenible. El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones adelantará

mecanismos de selección objetiva, previa convocatoria pública, para el otorgamiento del permiso para el uso del espectro radioeléctrico y exigirá las garantías correspondientes. En aquellos casos, en los que el nivel de ocupación de la banda y la suficiencia del recurso lo permitan, así como cuando prime la continuidad del servicio o la ampliación de la cobertura, el Ministerio podrá otorgar los permisos de uso del espectro de manera directa.

El Gobierno Nacional podrá establecer bandas de frecuencias de uso libre de acuerdo con las recomendaciones de la UIT, y bandas exentas del pago de contraprestaciones entre otras para Programas Sociales del Estado [19]. En Figura 6, se observa el cuadro de atribución bandas de frecuencias 824 - 849 MHz y 869 - 894 MHz para operación de redes de telefonía móvil celular.

Figura 6. Espectro radioeléctrico asignado a los operadores de telefonía móvil celular en las bandas de 800 y 1900 MHz.

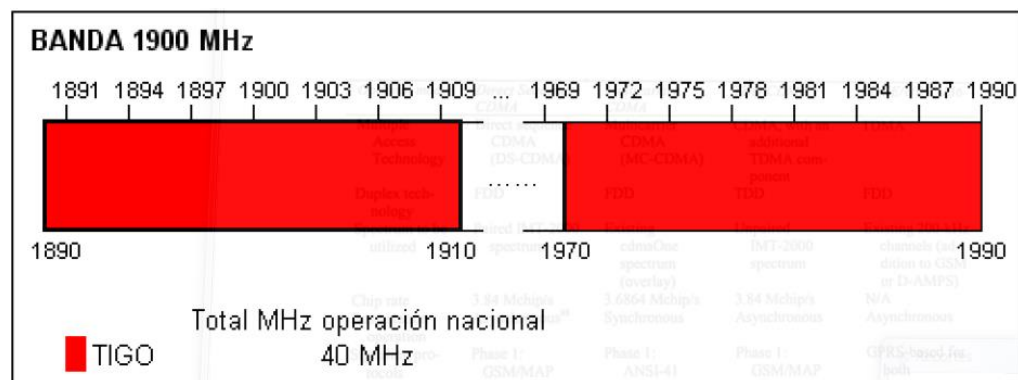


Fuente [19]

A su entrada al mercado, en el año 2003, al operador de Servicios Personales de Comunicación PCS le fueron asignados 30 MHz de espectro radioeléctrico en la banda

1.900 MHz, años después le fueron asignados 10 MHz más, como se observa en la figura 7.

Figura 7. Espectro radioeléctrico asignado al operador PCS en la banda de 1900 MHz.



Fuente [20].

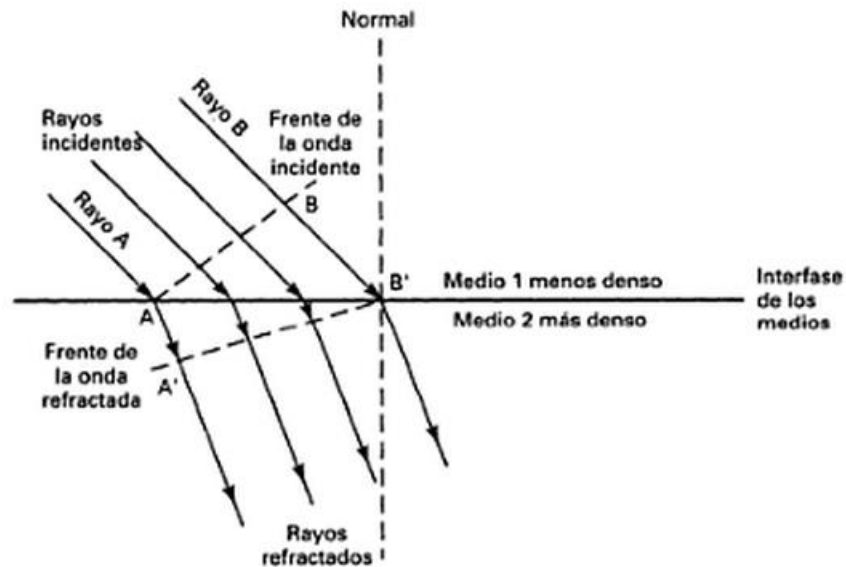
5.3 PROPIEDADES DE LAS ONDAS

En la atmosfera de la tierra, la propagación del frente de onda-rayo puede alterarse por el comportamiento del espacio libre por efectos ópticos como la refracción, reflexión, difracción, e interferencia. Utilizando una terminología no científica, la refracción puede describirse como un doblamiento; la reflexión como un salto; la difracción, como esparcimiento y la interferencia, como una colisión.

5.3.1 Refracción

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo conforme pasa oblicuamente, de un medio a otro, con diferentes velocidades de propagación. La velocidad a la cual una onda electromagnética se propaga es inversamente proporcional a la densidad del medio en el cual se está propagando. Por tanto la refracción ocurre siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro medio de diferente densidad. La Figura 8 muestra la refracción de un frente de onda, en una frontera plana, entre dos medios de diferentes densidades.

Figura 8. Refracción en una frontera plana entre dos medios.



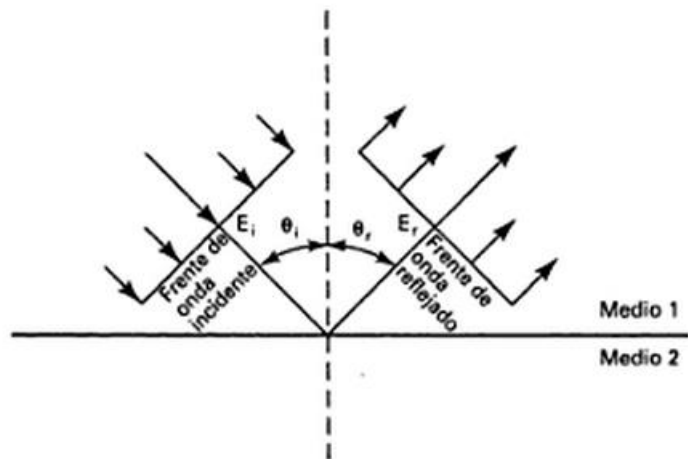
Fuente [21]

5.3.2 Reflexión

Reflejar significa lanzar o volverse hacia atrás, y la reflexión es el acto de reflejar. La reflexión electromagnética ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera de dos medios y algo o todo de la potencia incidente no entra al segundo

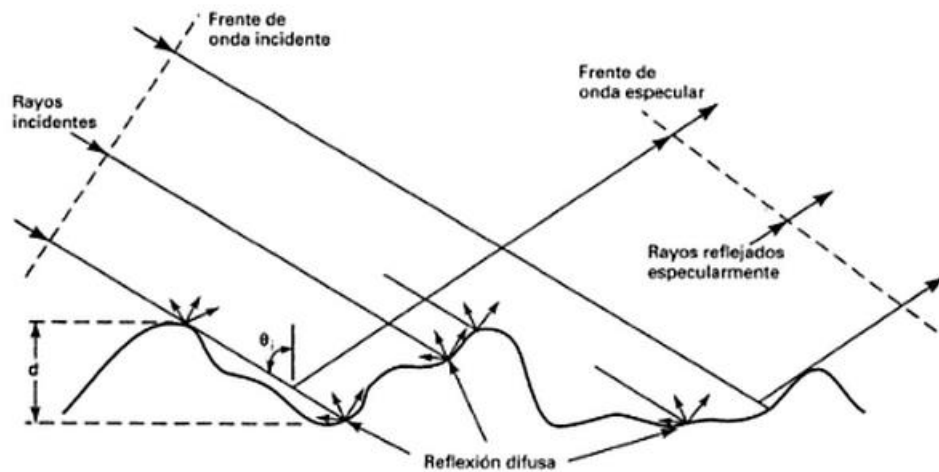
material. Las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan. La figura 9 muestra la reflexión de ondas electromagnéticas en una barrera plana entre los dos medios, y la figura 9 muestra la reflexión en una superficie semiáspera:

Figura 9. Reflexión electromagnética en una frontera plana de dos medios.



Fuente [21]

Figura 10. Reflexión sobre una superficie semiáspera.

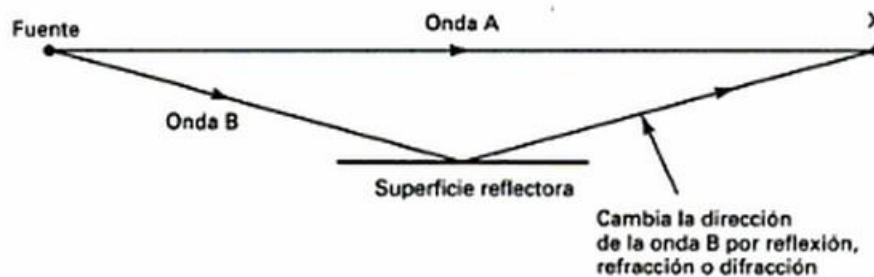


Fuente [21]

5.3.3 Interferencia

La interferencia de ondas de radio ocurre cuando dos o más ondas electromagnéticas se combinan de tal forma que se superponen en forma constructiva o destructiva. El funcionamiento del sistema se puede degradar a causa de interferencias que coinciden en fase opuesta. La interferencia se sujeta al principio de superposición lineal de ondas electromagnéticas y ocurre cada vez que dos o más ondas ocupan, simultáneamente, el mismo lugar. La figura 11 muestra la suma de dos ondas electromagnéticas provenientes de una misma fuente y que recorren dos caminos diferentes.

Figura 11. Interferencia de ondas electromagnéticas.

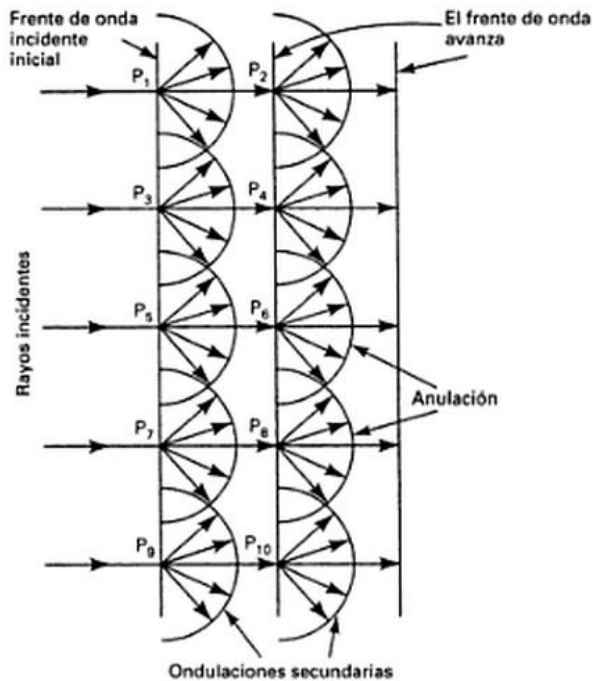


Fuente [21]

5.3.4 Difracción

La difracción se define como la modulación o redistribución de energía dentro de un frente de onda cuando pasa cerca del extremo de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas de luz o de radio se propaguen a la vuelta de las esquinas. En la figura 12 se puede observar el fenómeno de difracción donde las ondas se desvían al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija (P) [21].

Figura 12. Difracción de ondas electromagnéticas, principio de Huygens.



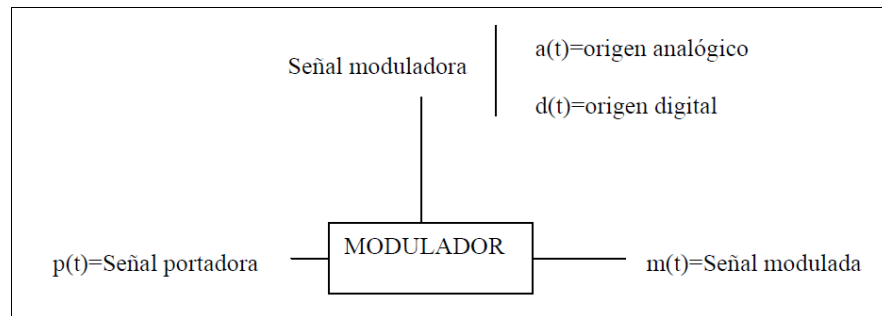
Fuente [21]

5.4 MODULACIÓN

La modulación consiste en la alteración sistemáticas de una onda senoidal, denominada portadora, en función de la característica de otra señal llamada moduladora que viene siendo la señal original transmitida.

El propósito de la modulación es transportar señales de información a través de la onda portadora, esto permite enviar varias señales al mismo tiempo, utilizando diferentes ondas portadoras y conseguir así un uso más eficiente del espectro de frecuencias, la resultante que se da después de la modulación se conoce como onda modulada. El esquema de modulación se puede ver en la Figura 13.

Figura 13. Esquema de modulación.



Fuente [22]

El proceso inverso, que consiste en separar de la señal modulada, para recuperar la información transportada por una onda portadora, se llama demodulación.

El uso de una onda portadora mejora la propagación y reduce ruido teniendo en cuenta que ciertas técnicas, tienen la propiedad de suprimir el ruido como la interferencia [22]. El uso de una portadora también permite dimensionar el tamaño de las antenas pues las señales moduladas se encuentran sobre una portadora de alta frecuencia que permite reducir el tamaño de las antenas, una antena debe tener un tamaño aproximado al de la longitud de onda de la señal que se va a transmitir.

5.4.1 TIPOS DE MODULACIÓN

Dependiendo del parámetro sobre el que se actúe, tenemos los distintos tipos de modulación los principales métodos utilizados son en las telecomunicaciones son:

- Modulación de amplitud (AM): La amplitud de la señal portadora se modifica, según la amplitud instantánea de la señal de información (Moduladora).
- Modulación de frecuencia (FM): La frecuencia de la señal portadora se modifica según la amplitud instantánea de la señal de información. Respecto a AM se mejora la relación señal a ruido.
- Modulación de fase (PM): La fase de la señal portadora se modifica según la amplitud instantánea de la señal de información. Al igual que FM mejora la relación señal a ruido respecto a AM pero no suele ser muy utilizada porque se requieren equipos de recepción más complejos que los de FM.

5.5 MODULACIÓN DIGITAL

La modulación digital es el proceso por el cual una onda portadora es capaz de llevar el mensaje o señal digital (serie de unos y ceros). Hay tres métodos básicos de modulación: de amplitud, frecuencia y por desplazamiento. Los sistemas de modulación de pulsos son varios pero se enumerarán los más importantes.

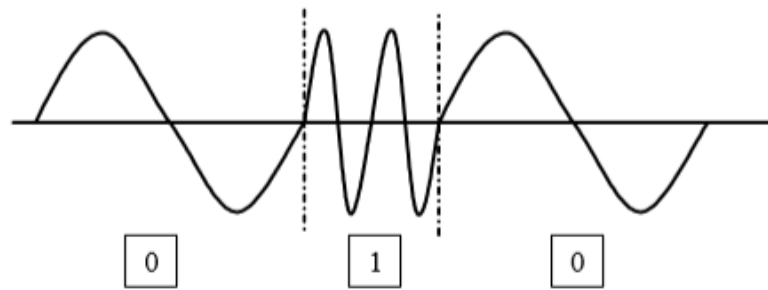
5.5.1 Amplitude shift keying (ASK)

Modulación por desplazamiento de amplitud implica el aumento de la amplitud (potencia) de la onda en el paso con la señal digital (en otras palabras, bajo = 0, alto = 1) y se utiliza a menudo en la radio AM.

5.5.2 Frequency shift keying (FSK)

Modulación por desplazamiento de frecuencia cambia la frecuencia en el paso de la señal digital. Los sistemas que utilizan esta modulación (emisión de radio FM) tienden a ser más resistentes al ruido ya que el ruido suele cambiar la amplitud de la señal. En la figura 14, diferentes bits están representados por diferentes frecuencias que luego pueden ser detectadas por un receptor. Desde el inicio de la transmisión inalámbrica han existido dos limitaciones que aún hoy día causan eco y son de vital importancia en el manejo de radiofrecuencias. Éstas son el ruido y el ancho de banda.

Figura 14. Modulación utilizando FSK.

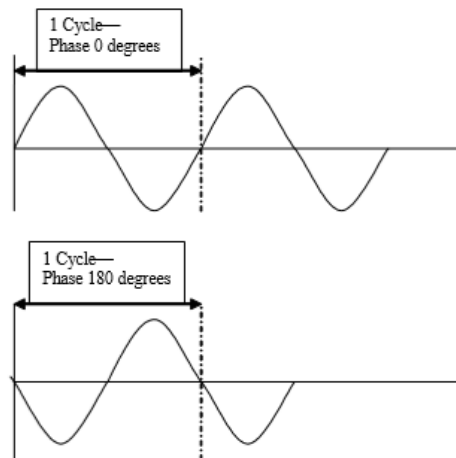


Fuente [22]

5.5.3 Phase shift keying (PSK)

Modulación por desplazamiento de fase cambia la fase de la portadora en el paso con el mensaje digital. Para la modulación por desplazamiento de fase binaria (BPSK), cada símbolo podría indicar dos estados diferentes o un bit por símbolo (en otras palabras, $0 = 0$, $180 = 1$). En la Figura 15, la segunda onda se desplaza por medio de un período o 180 grados. El receptor puede reconocer este cambio que indica ya sea una digital o cero [23].

Figura 15. Modulación utilizando PSK.



Fuente [23]

5.6 TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE.

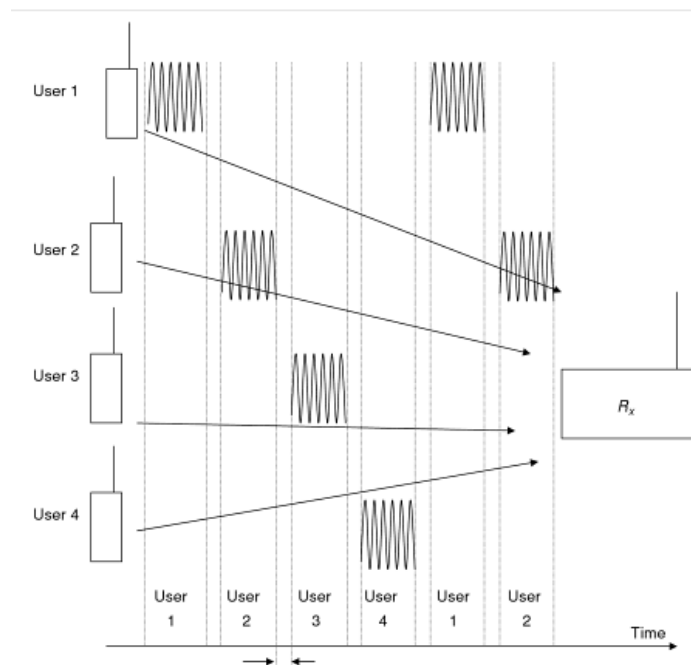
Puesto que el soporte físico de las comunicaciones móviles es la interfaz de radio, deben desarrollarse mecanismos que permitan el uso compartido del mismo. A dichos mecanismos se les conoce como técnicas de acceso múltiple, y el requisito básico es que proporcionen ortogonalidad en el receptor, lo que quiere decir que los usuarios resultaran separables en el extremo del receptor. A continuación se explican las técnicas más utilizadas de los sistemas de comunicaciones móviles [24].

5.6.1 TDMA

En el Acceso TDMA (Time Division Multiple Access) el canal de comunicación se divide en intervalos de tiempos o “**time slots**” los cuales se agrupan en intervalos

de tiempo llamados tramas, al usuario que pida servicio se le asignara un time slot en la trama o “**frame**”. Este intervalo de tiempo se conserva por el usuario hasta el final de la conversación [25]. Un ejemplo se da en la figura 16 donde se observa un frame compuesto por cuatro time slots; Típicamente, a todos los usuarios se les da una oportunidad para transmitir una vez durante una frame Por lo tanto la trama total se compone de slots de usuario y tiempos de guarda K que se insertan para evitar colisiones debido a la sincronización imperfecta. El rendimiento para el usuario es una función de la tasa global de transmisión del sistema y el número de ranuras de tiempo disponibles.

Figura 16 Ejemplo para un sistema de 4 usuarios en TDMA.



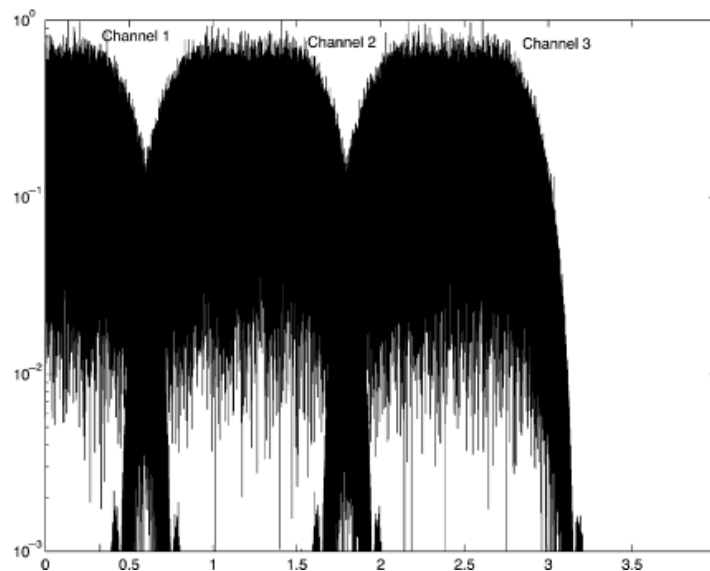
Fuente [25]

5.6.2 FDMA

FDMA ((Frequency Division Multiple Access) es el segundo tipo más importante de acceso múltiple pero cronológicamente es la primer técnica en aparecer y la única

factible en transmisiones analógicas. En FDMA los canales se definen de acuerdo a la asignación de frecuencia. Por lo tanto, todos los transmisores están activos simultáneamente, pero ocupan diferentes segmentos del espectro de RF, como se ilustra en la Figura 17, en un sistema FDMA, el ancho de banda por usuario es simplemente relacionado con la velocidad de datos y esquema de modulación usado [26].

Figura 17. Ejemplo para un sistema de 3 canales en FDMA.



Fuente [26]

5.6.3 CDMA

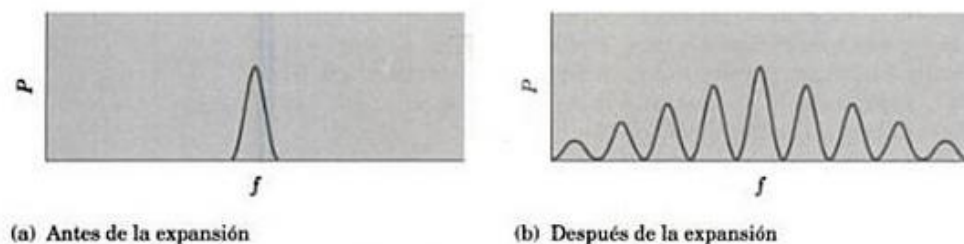
Es común que en la mayoría de los sistemas de comunicación analógica se utilice multiplexación por división de frecuencia, y en los sistemas digitales se utilice multiplexación por división de tiempo, a fin de combinar muchas señales de información en un solo canal de transmisión. La comunicación de espectro expandido permite un tercer método para la multiplexación de señales de diferentes fuentes llamado acceso múltiple por división de código (code-division multiple Access. CDMA).

5.6.3.1 Espectro expandido

A medida que proliferan los sistemas de radiocomunicación y se incrementa el tráfico, los problemas de interferencia se vuelven más graves. En el pasado la interferencia se controlaba por medio de una rigurosa revisión en la ubicación de transmisores, frecuencias y niveles de potencia. El uso extendido de sistemas de teléfonos inalámbricos, redes de área local inalámbrica y módems inalámbricos que utilizados por millones de personas han hecho casi inevitable la interferencia en nuestro entorno.

Una técnica para reducir la interferencia y que no requiere control central riguroso, se conoce como **espectro expandido o extendido** (Spread Spectrum), la cual se utilizó durante algún tiempo en aplicaciones militares donde la interferencia a menudo consiste en el bloqueo intencionado de señales. Esta técnica busca expandir la señal en una porción mucho más amplia del espectro que lo usual como se observa en la Figura 18.

Figura 18. Señal de espectro expandido.



Fuente [27]

Como ejemplo una señal de audio normalmente ocuparía solo unos kHz del espectro se expande para abarcar muchos MHz. Así es probable que solo una pequeña porción de la señal sea enmascarada por cualquier señal de

interferencia. La densidad de potencia promedio expresada en watts por Hertz de ancho de banda también se reduce y esto a menudo da como resultado una relación señal a ruido menor que uno (es decir, la potencia de la señal en cualquier intervalo de frecuencia es menor que la potencia de ruido en el mismo ancho de banda).

A primera vista podría pensar que esto haría casi imposible detectar la señal, lo cual es cierto a menos que se utilicen técnicas especiales para “reducir” la señal mientras que, al mismo tiempo, se dispersa la energía de las señales interferentes. De hecho, la baja densidad de potencia promedio de las señales de espectro extendido tiene que ver con su inmunidad relativa a la interferencia y a la interceptación de mensajes. Existen dos tipos importantes de sistemas de espectro expandido, que se conocen como salto en frecuencia (Frequency hopping) y secuencia directa (Direct sequence) este último usado para CDMA, busca modular el transmisor con una corriente de bits que consiste en un ruido pseudoaleatorio (PN) que tiene una tasa mucho más alta que los datos reales a transmitir. El término pseudoaleatorio significa que la corriente de bits en primera instancia aparenta ser una secuencia aleatoria de ceros y unos, pero en realidad se genera de manera que se repita de vez en vez. Los bits a transmitir se combinan con el ruido pseudoaleatorio llamándose segmentos (Chips) y la tasa de bits resultante se conoce como tasa de segmentación (Chipping rate).

En CDMA se requiere que a cada transmisor se asigne una secuencia diferente de pseudoruido (PN). Si es posible, deben elegirse secuencias ortogonales; es decir, los transmisores nunca deben estar en el mismo lugar en el tiempo. Por la sucesión de PN para el transmisor solo se da para el receptor que va a operar el transmisor. Este receptor recibe entonces solo las transmisiones correctas y los demás receptores ignoran estas señales. Esta técnica permite que muchas transmisiones compartan el mismo canal de espectro expandido [27].

5.7 ANCHO DE BANDA

El ancho de banda de un sistema de comunicaciones es la banda de paso mínima requerida para propagar información de la fuente a través del sistema. El ancho de banda de un sistema de comunicaciones debe ser lo suficientemente grande (ancho) para pasar todas las frecuencias significativas de la información, la *capacidad de información* de un sistema de comunicaciones es una medida de cuánta información de la fuente puede transportarse por el sistema, en un periodo dado de tiempo. La cantidad de información que puede propagarse a través de un sistema de transmisión, es una función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión [28].

5.8 REUSO DE FRECUENCIAS

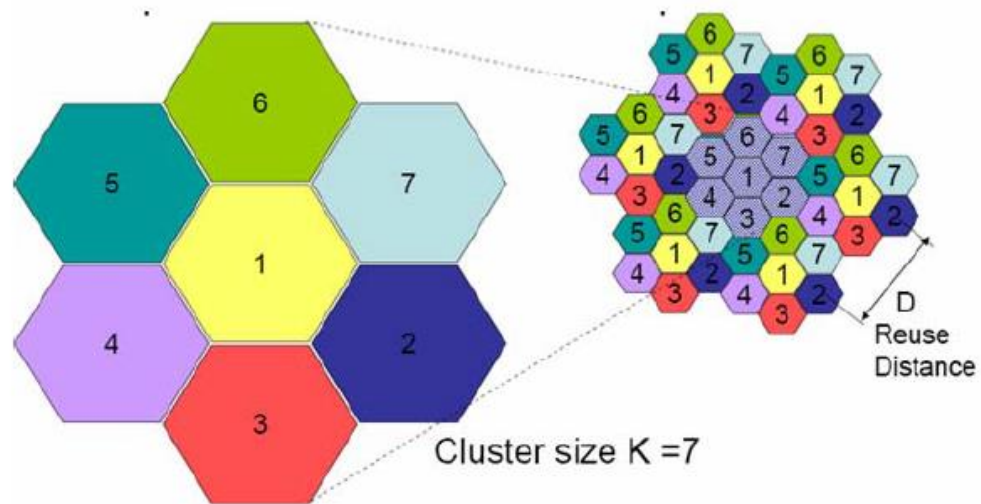
En los sistemas celulares el área total donde se presta el servicio se divide, conceptualmente, en un conjunto de polígonos, llamados celdas. Cada celda tiene su propio equipo (estación base) para transmitir y recibir, hacia y desde los móviles. Se recomienda el uso de celdas en forma hexagonal porque permiten cubrir un área mayor con un número menor de estaciones base [29].

A cada celda se le asigna un canal en frecuencia, debido a que el espectro es un recurso escaso la única forma de ampliar cobertura es reutilizándolo, esto significa que los canales de frecuencias que se usan en una determinada área geográfica

se puede reutilizar en otra área mientras se mantenga una distancia (D) mínima (distancia de reuso) con el fin de evitar interferencia. Las celdas que usan los mismos canales se denominan celdas co-canal y las que están una al lado de la otra (en el espectro radioeléctrico) se llaman celdas adyacentes,

El grupo de células que conjuntamente usan todas las frecuencias disponibles se denomina cluster, El número de celdas por cluster (K) se denomina factor de reuso. Mientras mayor es el factor de reuso de frecuencia, mayor es la separación entre celdas co-canal y menor es la interferencia, pero se tiene menor capacidad, o se deben tener más espectro para mantener una capacidad dada, Figura 19.[30]

Figura 19 Reúso de frecuencias.



Fuente [30].

5.8.1 Interferencia co- canal

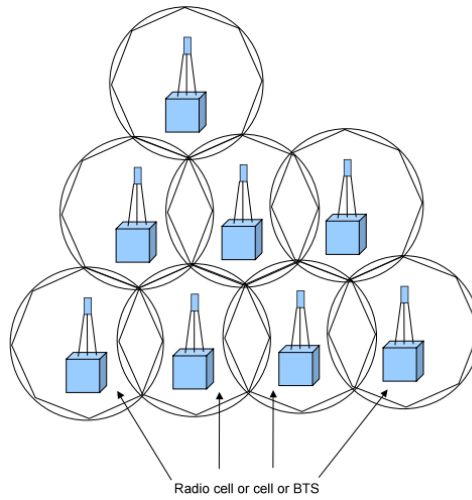
La interferencia es el factor que en mayor medida limita el rendimiento de los sistemas celulares, hay varias fuentes de interferencia, pero la más relevante es la denominada co-canal. Es consecuencia del reuso de frecuencias ya que hay celdas que trabajan con un mismo conjunto de canales, no se puede reducir la interferencia incrementando la potencia de transmisión ya que también se incrementaría la de las BTS interferentes.

5.9 RADIO CELDA

Una radio celda es el área de servicio más pequeña en una PLMN. El término "celda" proviene de la forma de panal de las áreas en las que el área de cobertura PLMN se divide.

Una celda consta de una estación base que transmite a través de una pequeña área geográfica que se representa como un hexágono. Toda la red móvil terrestre pública **PLMN** (Public Land Mobile Network). Una celda también se denomina transceptor de estación base (BTS) como se puede ver en la Figura 20. El tamaño máximo de una celda puede ser hasta 35 km radio para el sistema de D900 (900 MHz) y hasta 8 km radio para el sistema de D1800/D1900 (1800/1900 MHz) [31].

Figura 20. Radio celdas.



Fuente [31]

5.10 COBERTURA

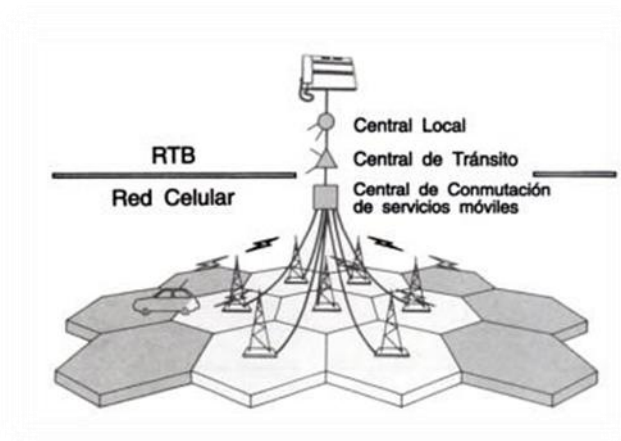
La telefonía móvil consiste en ofrecer un acceso vía radio a un abonado de telefonía, de tal forma que pueda realizar y recibir llamadas dentro del radio de “cobertura” del sistema del sistema (área dentro del cual el terminal móvil puede conectarse con el sistema de radio para llamar o ser llamado).

La diferencia entre un sistema móvil celular y uno cordless o sin hilos es: mientras que el sistema móvil celular normalmente tiene cobertura amplia (A nivel nacional) En el caso del sistema cordless la cobertura es limitada (Un área de oficinas o un conjunto residencial).

Los sistemas celulares incorporan la ventaja de dividir el área de cobertura en celdas, este sistema limita convenientemente la potencia con que se emite cada frecuencia, permite el **reúso** de las mismas frecuencias a distancias bastante

cortas y aumenta en gran medida la capacidad de los sistemas. Como se observa en la Figura 21 [32].

Figura 21. Sistema Celular.



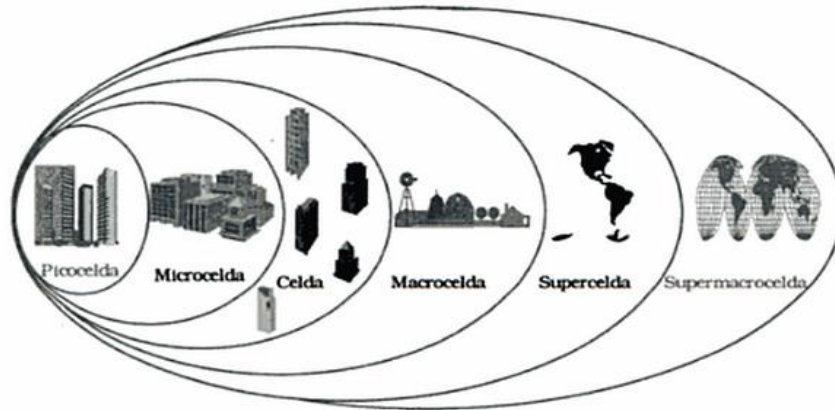
Fuente [32]

El radio de cobertura de una celda está principalmente determinado por la potencia de la señal transmitida, por la altura de la antena y por la frecuencia de la señal transmitida, de acuerdo al radio de cobertura de las celdas, estas se pueden clasificar de la siguiente forma:

La de menor tamaño es conocida como **picocelda**, la cual generalmente ofrece servicios dentro de un área de pocos metros, por ejemplo dentro de edificios usando una tecnología de PBX inalámbrico; la siguiente en tamaño es la **microcelda** y dentro de esta zona tenemos cualquier tecnología de teléfono inalámbrico, esta zona tiene un diámetro de menos de 400 m, mientras que para un sistema de telefonía celular la celda tiene pocos Km de diámetro ($\Phi < 30$ Km); en tanto que los sistemas satelitales de baja órbita (LEO) forman **macro-celdas** de pocos cientos de Km (Iridium $\Phi < 670$ Km), los sistemas de órbita geostacionaria forman **super-celdas** con diámetro de muchos cientos de Kilometro, y puede

darse el caso de que con solo 3 celdas satelitales, se cubra toda la superficie terrestre; formando **super-macrocelas**. Lo anterior se puede observar en Figura 22 [33]

Figura 22 Concepto de Celdas.



Fuente [33]

6 TECNOLOGIAS SALIENTES (2G)

6.1 SISTEMAS ANALÓGICOS

La primera generación de la telefonía móvil celular fue analógica, para ésta no se presentó estandarización a nivel mundial,[34] principalmente se extendieron tres sistemas analógicos:

- Norma nórdica: NMT 450, NMT 900
- Norma americana: AMPS, TACS (900 MHz).
- Norma japonesa NTT

6.1.1 AMPS

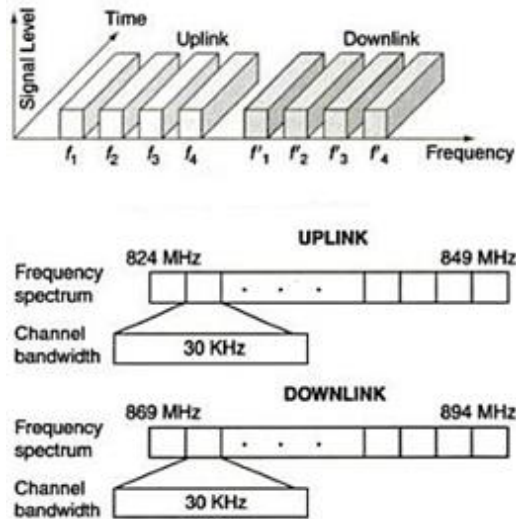
Todos Los sistemas mencionados anteriormente, tenían en común una interfaz de radio analógica, pero por el hecho de ser su implementación propietaria, no es posible interconectar sistemas de distintos suministradores.

En enero de 1979, la FCC (Federal Communications Commission) de Estados Unidos autorizó a la compañía AT&T a desarrollar un sistema celular piloto en el área de Chicago, del que resultó el nacimiento del sistema celular conocido como AMPS (Advanced Mobile Phone System) Finalmente en octubre de 1983 se puso en operación el primer sistema comercial dentro de los Estados Unidos en la ciudad de Chicago. AMPS fue el sistema que mejoró la calidad de servicio ya que al tener una mayor anchura de canal mejoró la relación señal/ruido [35].

La tecnología AMPS opera en la banda entre los 824MHz a 849 MHz, para un total aproximado de 832 canales de los cuales, se utilizan 21 canales para señalización, dedicados a la disposición de llamada, Handover, y el colgado de las llamadas. Los canales restantes de comunicaciones se dividen en canales de voz de 30 kHz, con una separación de 45MHz entre los canales de ascendente

(uplink) y canal descendente (downlink). AMPS trabaja sobre la base de transmisión FDMA y FDD como se observa en la figura 23, AMPS no maneja datos [36].

Figura 23. Concepto de FDMA/FDD en AMPS.



Fuente [36]

Los sistemas AMPS, TACS, NMT y NTT. Forman parte de la primera generación de telefonía móvil (1G) En 1995 el 70% de los teléfonos móviles fabricados en el mundo cumplían las normas NMT o TACS, pero esto cambió con el desarrollo de GSM. Ya que 3 de cada 4 móviles funcionaban con esta tecnología como se observa en la figura 24.

Figura 24. Frecuencias ascendente y descendente utilizadas por los sistemas analógicos en Estados Unidos, Europa (TACS y NMT) y Japón.

Parámetros	AMPS	NMT	TACS	NTT
Frecuencia Tx (MHz) Base Móvil	870-890 825-845	463,5-467,5 453-457,5	935-960 890-915	870-885 925-940
Espacio entre frecuencias Tx/Rx (MHz)	45	10	45	55
Espacio entre canales (kHz)	30	25	25	25
Número de canales	882	180	1.000	600
Cobertura radiobase (km)	2-25	2-40	2-20	5-10

Fuente [36].

6.1.2 SISTEMAS NMT 450/900 Y (E) TACS 900

El sistema NMT tiene dos versiones, una la conocida como NMT450 que opera en la banda de 450 MHz, que es un sistema analógico multiplexado en frecuencia (FDM) De banda ancha, lo que significa que la anchura de banda disponible se divide en porciones, cada una de las cuales constituye un semi-canal, y teniendo en consideración que un canal completo consta de un semi-canal estación base/móvil y de otro móvil/estación base. Por lo tanto, y para evitar interferencias, es necesario que cada estación base utilice un juego de frecuencias diferente al de su colateral. Las características técnicas de NMT450 y NMT900 son similares salvo las correspondientes a la banda empleada.

El sistema TACS 900 (En España conocido TMA 900) que como su nombre lo indica trabaja en la banda de 900 MHz y proporciona un mayor número de canales; NMT900 trabaja con multiplexado en frecuencia (FDM), pero difiere de él en que utiliza una tecnología mucho más barata y avanzada que la que la empleada en NMT, dando una mejor calidad de audio así como una mejor

conmutación al pasar de una a otra celda ya que la señalización se realiza por fuera de banda, siendo imperceptible.

La banda de frecuencias empleada es la de 900 MHz. Y cada MHz del ancho de banda se divide en 40 semi-canales de 25 kHz cada uno, dando un total de 1.000 o 1320 canales (Enhanced TACS) dúplex, con 21 de ellos para dar la situación del canal de tráfico usado en cada momento, por lo que resultaba extremadamente útil, por su gran disponibilidad de canales, para cubrir áreas urbanas. Las comunicaciones eran analógicas. Pero todo el control de la red se realizaba de forma digital [37].

6.2 SISTEMAS DIGITALES

Al igual que no hubo estandarización mundial en la primera generación, tampoco la hubo en la segunda generación. Se crearon principalmente 3 sistemas en uso: D-AMPS, GSM, y PDC. A continuación se analizarán D-AMPS y GSM. Ya que PDC sólo se usó en Japón y básicamente es un D-AMPS modificado para compatibilidad hacia atrás con el sistema analógico japonés de primera generación.

6.2.1 D-AMPS

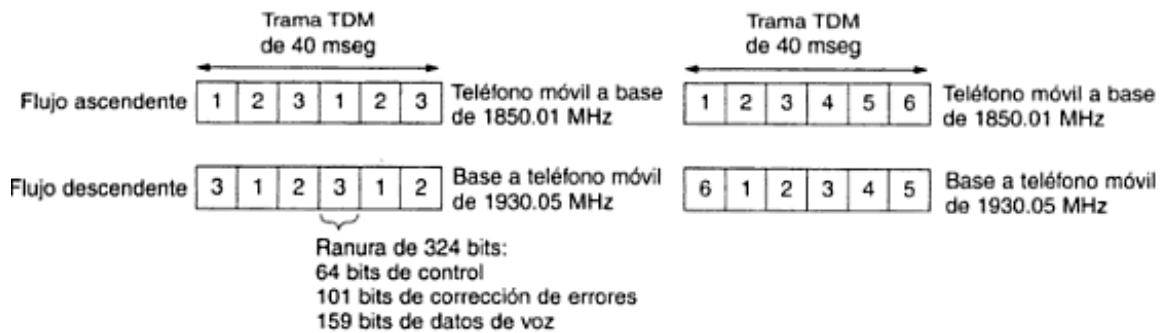
La segunda generación de los sistemas AMPS es D-AMPS y es completamente digital. Se describe en el estándar internacional IS-54 y en su sucesor IS-136. D-AMPS se diseñó con mucho cuidado para que pudiera coexistir con AMPS, a fin de que tanto los teléfonos móviles de primera generación como los de segunda

generación, pudieran funcionar de manera simultánea en la misma celda. En particular, D-AMPS utiliza los mismos canales a 30 KHz que AMPS y las mismas frecuencias a fin de que un canal pueda ser analógico y los adyacentes, digitales. Dependiendo de la mezcla de teléfonos en las celdas, la MTSO (Mobile Telephone Switching Office) de la celda determina cuáles canales son analógicos y cuáles digitales, y puede cambiar tipos de canales de manera dinámica conforme cambie la cadena de canales en una celda.

Cuando D-AMPS fue introducido como un servicio, se puso disponible una nueva banda de frecuencia para manejar la carga esperada creciente. Los canales ascendentes estaban en el rango de 1850 – 1910 MHz y los canales descendentes correspondientes estaban en el rango de 1930-1990 MHz, nuevamente en pares, como en AMPS. En esta banda, las ondas son de 16 cm de longitud, por lo que una antena de onda estándar de $\frac{1}{4}$ es de sólo 4 cm de longitud, lo que da teléfonos más pequeños. Sin embargo, muchos teléfonos D-AMPS podían utilizar tanto las bandas de 850-MHz como las de 1900-MHz para obtener una gama más amplia de canales disponibles.

En un teléfono móvil D-AMPS, la señal de voz capturada por el micrófono se digitaliza y comprime utilizando un modelo más refinado de los esquemas de modulación delta y codificación de predicción. La compresión toma en cuenta propiedades del sistema de voz humano para obtener el ancho de banda de la codificación PCM estándar de 56 a 8 Kbps o menos. La compresión se crea mediante un circuito llamado **vocoder** (Bellamy 2000). Dicha compresión se llevaba a cabo en el teléfono, en un lugar de la estación base o en la oficina central. Para reducir el número de bits que se envían a través del aire [38].

Figura 25. (a) Un canal D-AMPS con tres usuarios. (b) Un canal D-AMPS con seis usuarios.



Fuente [38].

Cada trama mantiene tres usuarios que se turnan para utilizar los enlaces ascendente y descendente. Por ejemplo, durante la ranura 1 de la figura 25(a), el usuario 1 podría transmitir a la estación base y el usuario 3 recibir de ella. Cada ranura tiene un tamaño de 324 bits de longitud, de los cuales 64 se utilizan para propósitos de protección, sincronización y control, y los 260 restantes para la carga útil del usuario. De éstos, 101 se utilizan para la corrección de errores a través del enlace de aire con ruido, por lo que al final de cuentas sólo 159 bits se dejan para la voz comprimida. Con 50 ranuras/seg, el ancho de banda para la voz comprimida está por debajo de sólo 8 Kbps que es 1/7 del ancho de banda estándar PCM.

6.2.1.1 CDPD Cellular Digital Packet Data

Así mientras se analizaba el canal aéreo de las celdas AMPS, se encontró que aún en las celdas más ocupadas se exige una significativa porción de tiempo en donde los canales de RF no se utilizaban. De este hecho nació la idea de utilizar el tiempo de ocio de los canales de voz para realizar las transmisiones de datos

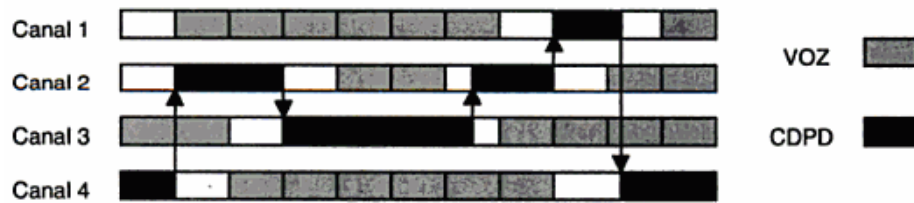
requeridas. Para lograrlo sólo se agregó la habilidad de poder cambiar la transmisión hacia cualquier otra frecuencia disponible para evitar interferir con las transmisiones de voz. La historia del CDPD empezó en 1991, año en el que se registró la patente por 3 investigadores de IBM. Posteriormente en 1992, con la finalidad de estandarizar la tecnología e incrementar la cobertura geográfica, se requirió el soporte de otros prestadores de servicio celular.

Como se mencionó anteriormente CDPD usa los mismos sitios de celda y las mismas frecuencias de transmisión que el teléfono celular, el uso de esas frecuencias por parte del CDPD estaba limitado a la no interferencia con las señales de voz. Por la prioridad de las señales de voz sobre las señales de datos. Solo funcionaba cuándo no había llamadas de voz en el par de frecuencias sobre las que se pensaba transmitir. Si un usuario de teléfono celular quería realizar una llamada y en ese momento había un usuario de CDPD sobre el canal que se acababa de asignar para la llamada, el usuario de CDPD debía ser transferido a otra portadora sin uso, antes de que la llamada de voz se llevara a cabo.

Este proceso se conocía como: Salto de canal (Channel Hop) Así los usuarios de teléfonos celulares nunca se enteraron que sus canales estaban en uso por otro sistema. El proceso anterior se puede observar en la Figura 26

En CDPD había un subsistema de rastreo que cambiaba la frecuencia portadora dentro de un límite de 40 ms. Para no causar interferencia con AMPS [39].

Figura 26. Salto de Canal (Channel Hop)



Fuente [39].

En la región (Sur América), los suscriptores de teléfonos móviles habían pasado de 100.000 en 1990 a 3,5 millones en 1995, para llegar a unos 60 millones a finales del 2000, la mayoría se encontraban concentrados en Brasil, México, Argentina, Venezuela y Chile.

6.2.2 GSM

6.2.2.1 Creación del estándar

Después de la introducción de AMPS en E.U.A, CEPT (Conférence européenne des administrations des postes et des télécommunications) decidió crear un grupo de trabajo bajo el nombre de idioma francés Groupe Spéciale Mobile, de ahí la abreviatura (GSM), que después de la penetración mundial del sistema, fue cambiado a Sistema Global para Comunicaciones Móviles (Global System Mobile Communication). A este grupo se le dio la tarea de definir y elaborar las especificaciones de un sistema celular que podría ser introducido en Europa a principios de los 1990s. En línea con la evolución constante de analógico al digital en conmutación y transmisión de AMPS, se hizo obvio que este nuevo sistema debería ser un sistema digital [40].

En 1986, la Unión Europea emitió una directiva a todos los estados miembros para borrar la banda de frecuencia de 890-915 MHz para el enlace ascendente y 935-960 MHz para el enlace descendente para la operación de 124 canales de radio.

Para el futuro de la red paneuropea de radio celular el 7 de septiembre de 1987, se firmó un memorando de entendimiento (MoU) en Copenhague por 13 países europeos, en el acuerdo se comprometían a aplicar un sistema de radio celular digital común en sus redes, incluyendo Roaming en las redes de los otros operadores de firmas MoU. En 1989, el responsable por las especificaciones de GSM, transmite las obligaciones del nuevo estándar, de la CEPT al Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI). A mediados del año 1990, todos los demás operadores MoU de firmas originales habían comenzado la operación comercial de GSM, y sorprendentemente, también los operadores de fuera de Europa, en Australia, Nueva Zelanda y Hong Kong. Se había alcanzado la cobertura nacional y Roaming internacional de al menos el 90% de la población en países con redes GSM.

En 1991, la ETSI amplió la especificación GSM y se añadieron 374 canales de radio en la banda de frecuencia 1710-1880 MHz para un Sistema Celular Digital 1800 (DCS 1800), que se utilizaría para las redes de comunicaciones personales [41].

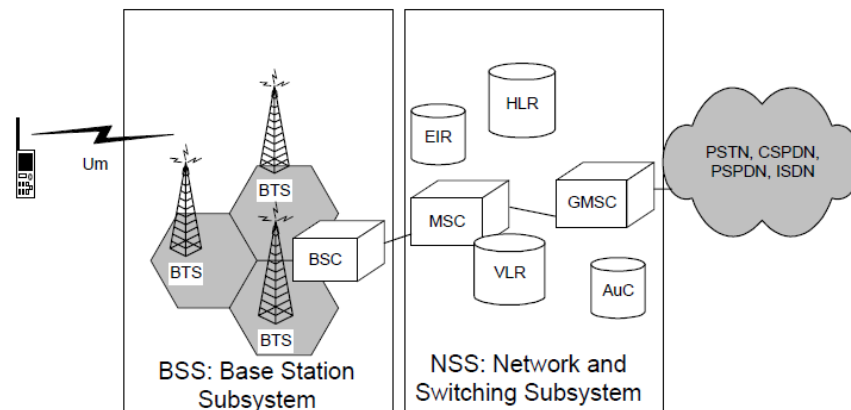
La compañía británica Mercurio Uno a Uno (One-to-One) lanzó la primera red con DCS1800, suministrado por Nokia, Una de las ventajas clave de ese sistema GSM, era el uso de cifrado sofisticado derivado de la tecnología militar conocida como A5, que, al menos, hasta principios de 1999 nunca fue jaqueada. La exportación de equipos GSM con el algoritmo A5 se restringió temporalmente debido a las regulaciones de Competitividad y luego se usó un algoritmo A5

versión 2, simplificado, sin embargo, era todavía muy seguro contra la interceptación de llamadas.

6.2.2.2 Arquitectura de la red GSM

El GSM PLMN se divide en dos subsistemas principales como se observa en la Figura 25: el subsistema de estación base (BSS), y el subsistema de conmutación de red (NSS). Un abonado de GSM requiere un terminal llamado estación móvil (MS) para conectarse a la red utilizando la interfaz de radio (Um) Como se observa en la figura 27 [42]

Figura 27. Arquitectura de la red GSM.



Fuente [42].

6.2.2.2.1 El subsistema de conmutación de red (NSS)

El NSS es el responsable de control de llamadas, control de servicios y funciones de gestión de la movilidad de abonados, los principales elementos funcionales que están a asociado al NSS son los siguientes:

HLR (Home Location Register): El HLR es una base de datos utilizada para almacenar y gestionar los datos permanentes de los abonados, tales como perfiles de servicio, información de ubicación, y el estado de actividad.

MSC (Mobile Switching Center): La MSC es responsable de las funciones de conmutación de telefonía de la red. También se realiza la autenticación para verificar la identidad del usuario y garantizar la confidencialidad de las llamadas. El centro de autenticación (AuC) proporciona los parámetros necesarios para la MSC para llevar a cabo el procedimiento de autenticación. El AuC se muestra como una entidad lógica separada, pero en general está integrado con el HLR. El registro de identidad de equipo (EIR) es por otro lado una base de datos que contiene información sobre la identidad del equipo móvil. Evita las llamadas de no autorizado, o robo de los EM.

VLR (Visitor Location Register): El VLR es una base de datos utilizada para almacenar información temporal acerca de los suscriptores y que se necesita por la MSC con el fin de atender a visitar abonados. La MSC y el VLR se suelen integrar en un nodo físico individual y el término MSC / VLR se utiliza en su lugar. Cuando un usuario entra en una nueva área de MSC, una copia de toda la información necesaria se descarga desde el HLR al VLR. El VLR mantiene esta información, por lo que las llamadas del abonado se pueden procesar sin tener que interrogar al HLR (que puede ser en otra PLMN) cada vez. La información temporal se borra cuando la estación móvil transita fuera del área de servicio.

GMSC (gateway Mobile Switching Center): Un GMSC es un MSC que sirve como un nodo de pasarela a las redes externas, tales como redes RDSI o por cable.

6.2.2.2.2 El subsistema de estación base (BSS)

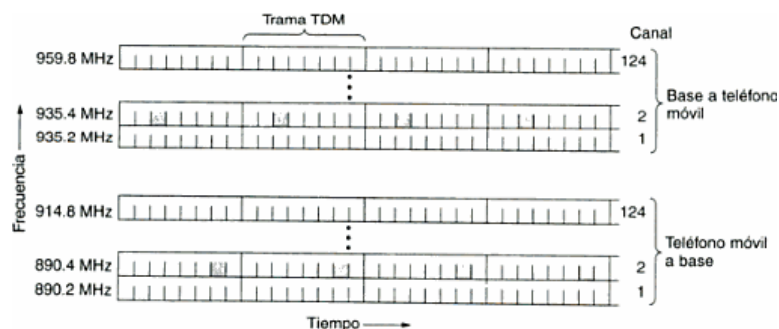
El subsistema BSS realiza funciones relacionadas de radio. Se compone de estaciones transceptoras base (BTS) y controladores de estación base (BSC).

BTS (Base Transceiver Station): la BTS es el equipo encargado de la interfaz de radio y comunicación con el MS. Se compone de equipo de radio (transceptores y antenas) requerido para dar servicio a cada celda en la red.

BSC (Base Station Controller): La BSC proporciona las funciones de control y enlaces físicos entre la MSC y la BTS. Un número de BSC son servidos por un MSC, mientras que varias BTS pueden ser controlados por un BSC.[43]

Los sistemas GSM tienen 124 pares de canales símplex. Cada uno de ellos tiene una longitud de 200 KHz (FDM) y cada uno maneja ocho conexiones por separado (TDM). A cada estación actualmente activa se le asigna una ranura de tiempo en el par de canal como se observa en la Figura 28. En teoría, en GSM cada celda se puede manejar hasta 992 canales, aunque muchos de ellos no están disponibles, para evitar conflictos de frecuencia con las celdas vecinas.

Figura 28. GSM utiliza 124 canales de frecuencia, cada uno de los cuales utiliza un sistema TDM de ocho ranuras.



Fuente [44].

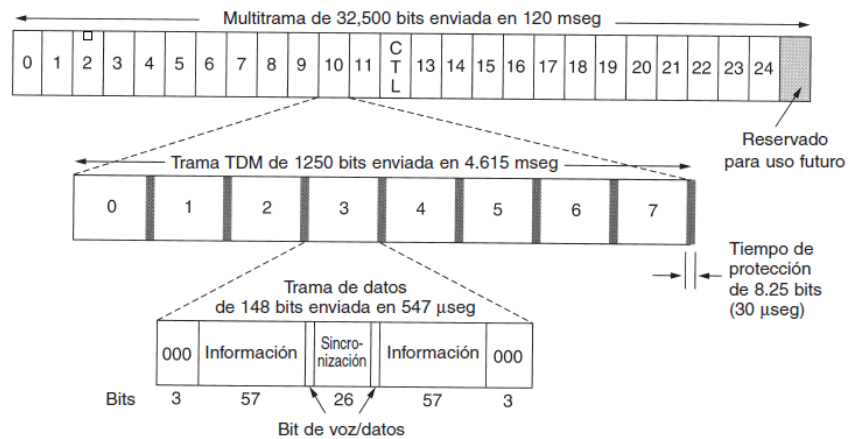
La transmisión y la recepción no suceden en la misma ranura de tiempo porque los radios GSM no pueden transmitir y recibir al mismo tiempo. Si la estación móvil a la que se le asignó 890.4/935.4 MHz y la ranura de tiempo 2 desea transmitir a

la estación base, podría utilizar las cuatro ranuras de tiempo inferiores sombreadas (Y las que le sigan), y colocar datos en cada ranura hasta que se hayan enviado todos los datos.

Las ranuras TDM que en las tramas GSM, hacen parte de una jerarquía compleja de entramado. Cada ranura TDM tiene una estructura específica, así como grupos de ranuras TDM de multitrama, que también tienen una estructura específica. En la Figura 27 se muestra una versión simplificada de esta jerarquía. Observe que una ranura TDM consiste en tramas de datos de 148 bits que ocupan el canal por 577 nanosegundo (Incluyendo un tiempo de protección o guarda de 30 seg. después de cada ranura).

Cada trama de datos inicia y termina con tres bits 0, para propósitos de delineación de trama. También contiene dos campos de información de 57 bits, cada uno de los cuales tiene un bit de control que indica si el siguiente campo de información es para voz o para datos. Entre los campos de información hay un campo de sincronización de 26 bits (Entrenamiento) que es utilizado por el receptor para sincronizar los límites de la trama del emisor [44]

Figura 29. Parte de la estructura de entramado GSM



Fuente [44]

Una trama de datos se transmite en 547 nanosegundos, pero un transmisor sólo tiene permitido enviar una trama de datos cada 4.615 mseg. La tasa bruta de cada canal es de 270,833 bps, dividida entre ocho usuarios. Esto da un total de 33.584 kbps, más del doble que los 324 bits 50 veces por segundo de 16.2 kbps de D-AMPS.

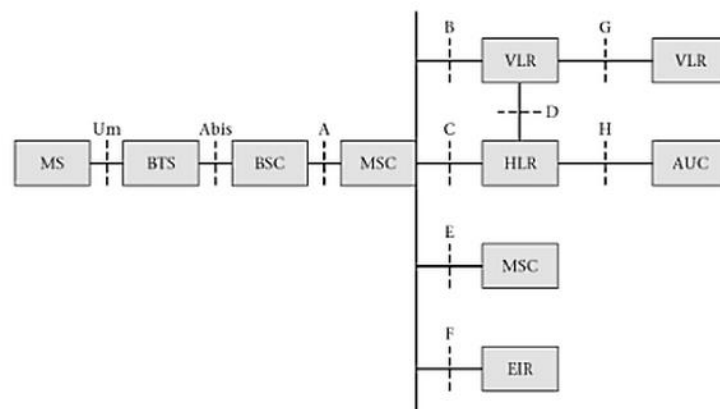
En estos sistemas la información adicional consume una fracción grande del ancho de banda. Lo que finalmente deja 24.7 Kbps de carga útil por usuario antes de la corrección de errores. Después de ésta se dejan 13 Kbps para voz, lo que da una calidad de voz sustancialmente mejor que D-AMPS (pero con el costo de utilizar de manera correspondiente más ancho de banda)

6.2.2.3 Interfaces y Protocolos de la red GSM

Los conceptos básicos de protocolos de telecomunicaciones electrónicas también se introdujeron en el contexto del modelo OSI. Cabe recordar que un protocolo de red es un acuerdo sobre la forma de comunicarse entre elementos de red.

- **Interfaces de GSM:** El estándar de GSM especifica las diversas interfaces entre los elementos de GSM. La Figura 30 muestra estas interfaces GSM. la interfaz de aire entre el MS y la BTS es la interfaz Um. La interfaz física entre la BTS y la BSC de que se conoce como la interfaz Abis, y la interfaz entre la BSC y la MSC, que se conoce como A.

Figura 30. Interfaces de la red GSM

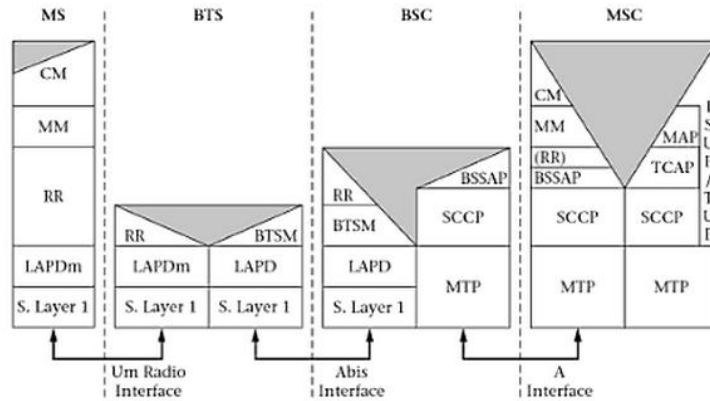


Fuente [44]

- **Protocolos y Modelo de señalización GSM:** La Figura 29, muestra un modelo de señalización para el sistema GSM el MS se comunica con la MSC para proporcionar conexión del sistema, la movilidad, y la gestión de recursos de radio mediante el envío de mensajes de un lado a otro sobre la interfaz de aire desde el MS a la BTS, entre la BTS y la BSC, y entre la BSC y la MSC. la figura indica los diferentes protocolos que se utilizan entre las diferentes interfaces de GSM. además, la MSC se comunica con las

redes de las que está conectado a (PSTN, PLMN, etc) mediante el uso de varios protocolos que se muestran en la Figura 31 [45].

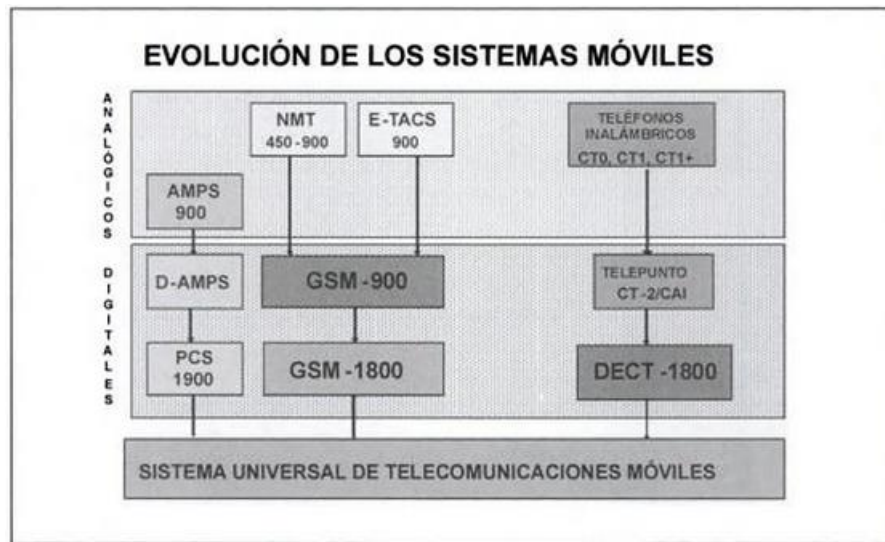
Figura 31. Modelo de señalización GSM



Fuente[45]

Si analizamos lo que ha sucedido en distintos países respecto a la proliferación de sistemas analógicos o digitales, En la Figura 32 se muestra la clasificación de los sistemas más comunes de telefonía móvil en función de que sean analógicos o digitales, mostrando la convergencia hacia un sistema único, aun coexistiendo en casi todos ellos ambas tecnologías, tenemos dos situaciones bien diferenciadas. En aquellos países que contaban con un sistema analógico bien desarrollado y de calidad (España, EUA, Italia, Noruega, Reino Unido, Holanda), tuvo una penetración fuerte, pero en aquellos otros en los que bien no existía, su calidad era deficiente o no había terminales de bolsillo (Alemania, Bélgica, Dinamarca, Francia, Portugal) la implantación de los sistemas digitales (GSM en concreto) alcanzó pronto un nivel que superó por mucho a los sistemas analógicos como: AMPS, NMT y TACS entre otros. Los sistemas analógicos están en vía de desaparición, sustituidos por los digitales [46].

Figura 32. Sistemas analógicos y digitales más comunes, mostrando la convergencia hacia un sistema único



Fuente [46].

En América Latina los estándares más extendidos fueron AMPS, DAMPS, CDMA y TDMA. Para el año 2003 la participación de GSM ya era de al menos un operador en cada país de la región.

GSM fue la tecnología de mayor crecimiento la tecnología inalámbrica en las Américas, registrando un crecimiento del 37% año a año, para el año 2002, de acuerdo a la EMC World Cellular Database. Los abonados GSM a nivel mundial ascendieron a más de 745 millones de usuarios que representaban el 69.15% de los abonados en todo el mundo [47].

Figura 33. Suscriptores de telefonía celular del mundo (septiembre 2012)



Fuente [47].

6.2.2.4 GPRS

Respecto a la red GSM, el servicio GPRS necesitó algunos cambios en los elementos de red de radio, como en la BTS y en la BSC. Estos cambios fueron principalmente relacionados al software para la BTS y cambios en los gabinetes de la BSC relacionados a software hardware, sus funcionalidades y limitaciones tienen que ver principalmente con el dimensionamiento de la red de radio.

Los objetivos del Sistema de Radio por Paquetes (GPRS) son permitir la transmisión de paquetes utilizando el canal de radio y para mejorar la velocidad de datos en la radio. La interfaz GPRS se define como una parte de GSM y está adaptada específicamente para el sistema GSM.

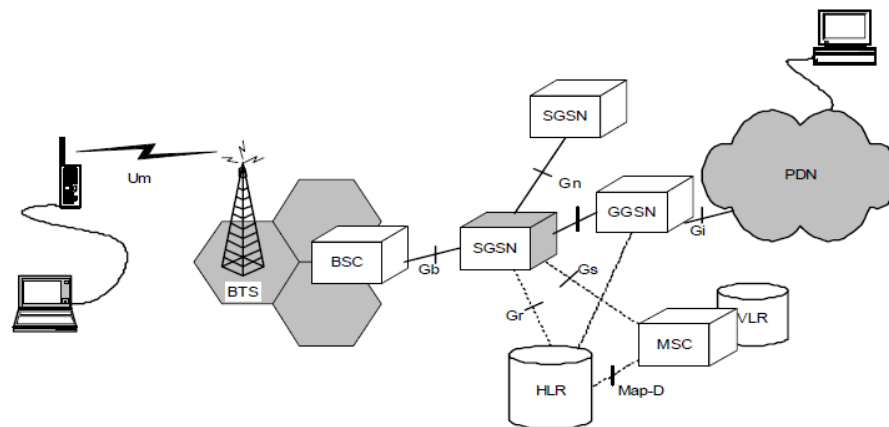
La interfaz en sí misma y la planificación del sistema de radio no tuvo grandes cambios respecto a la red GSM, La propagación entorno de radio, es exactamente equivalente a la conmutación de circuitos de datos y también el proceso de planificación de radio; Incluso el presupuesto, porque es similar para la

planificación de acceso de radio GPRS como para la planificación de conmutación de circuitos. Cambios para la planificación de radio (Link Budget) respecto a la voz, ocurren sólo para planificación muy detalladas, como lo son los umbrales de planificación (Cobertura).

6.2.2.4.1 Aspectos arquitectónicos GPRS

GPRS se considera como un servicio o característica de la tecnología GSM. Fue diseñado por la ETSI para que se ejecute en la infraestructura existente de GSM sin interferir con los servicios ya existentes. La Figura 34 ilustra la arquitectura lógica de una red GSM de soporte GPRS. El impacto de la introducción de GPRS a través de los subsistemas de red de GSM y los requisitos especiales para los terminales de GPRS, se describen a continuación.

Figura 34. Arquitectura lógica de la red GPRS



Fuente [46].

6.2.2.4.2 Los terminales GPRS

Sistemas GSM- GPRS y proporcionan entre trabajo y el intercambio de recursos de forma dinámica entre los usuarios. Por esta razón, los tres tipos de terminales se han definido: una clase-A MS puede llevar a una conexión de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes que permite al mismo tiempo que el abonado pueda iniciar o recibir una llamada de voz sin necesidad de interrumpir la transmisión de datos o de la actividad de recepción.

Este tipo de terminal, no estaba disponible cuando GPRS se desplegó inicialmente debido a su complejidad y alto costo. Un MS de clase B es capaz de conectarse a redes GSM y GPRS al mismo tiempo, pero una llamada de voz requiere que las transacciones de datos GPRS en curso que suspenderse durante la duración de la llamada. Transacciones de datos GPRS a continuación, pueden reanudar al final de la llamada de voz. Por último, una clase-C MS permite a los suscriptores acceder a un tipo de servicio sólo en un momento dado de una manera exclusiva.

El MS GPRS tiene dos componentes: un terminal móvil (MT), que es típicamente un teléfono utilizado para acceder a la interfaz de radio como un módem de radio, y un equipo terminal (TE), que es típicamente un ordenador portátil o un asistente digital personal (PDA). GPRS EM también vendrá como una unidad que combina las funcionalidades de un MT y TE.

6.2.2.4.3 GPRS BSS

GPRS tiene un impacto menor en el BSS GSM existente facilitando la reutilización de componentes y vínculos existentes sin grandes modificaciones. Esto es posible porque GPRS utiliza las mismas bandas de frecuencia y técnicas de salto, la

misma estructura de trama TDMA, la misma modulación de radio y la estructura de ráfaga como el GSM.

Un nuevo componente funcional llamada unidad de control de paquetes (PCU) se añadió a la BSS en el estándar GPRS para soportar el manejo de paquetes de datos. La PCU se coloca lógicamente entre el BSS y el NSS GPRS. A diferencia de las conexiones de los circuitos de voz, las conexiones GPRS entre el BSS y el MS sólo se establecen cuando los datos tienen que ser transportados por la interfaz aérea. Por lo tanto, el ETSI definió nuevos procedimientos para adaptar este tipo de conexiones, siendo prioritario las conexiones de voz.

6.2.2.4.4 GPRS NSS

El GPRS NSS puede ser visto como una red superpuesta asegurar el enlace entre los usuarios móviles y redes de datos. GPRS introduce un nuevo elemento funcional a la infraestructura GSM nodo de soporte de GPRS (GSN), que puede ser o bien una porción-GSN (SGSN) o una puerta de enlace-GSN (GGSN). Esta adición es necesaria para la red GSM con el fin de apoyar a los servicios de datos en paquetes. La red se divide generalmente en varias áreas de servicio SGSN controlados por separado. Sólo un SGSN sirve un MS en un momento determinado siempre y cuando se encuentra en su área de servicio. El SGSN es el principal responsable de hacer el seguimiento de la EM que sirve, y para el control de acceso a los servicios de datos. El GGSN en el otro lado proporciona la interfaz a las redes externas de paquetes de datos (PDN). El SGSN está conectado a la BSS por Frame Relay y posiblemente a varios GGSN a través de una red dorsal GPRS. La base de datos HLR se actualiza para contener información de abonado GPRS. Adaptaciones a un MSC/VLR actual no son necesarias, pero el estándar GPRS sugiere algunas mejoras para coordinar entre el SGSN y el MSC/VLR si la interfaz opcional entre los dos es soportada.

Varias interfaces se han introducido en GPRS para definir interacciones entidad a entidad. Por ejemplo, La interfaz *Gb* entre la BSC y el SGSN. Dos GSN se comunican a través de un *Gn* de la interfaz, y el SGSN envía consultas y recibe información del abonado desde el HLR a través de la Interfaz *Gr*, también aparece la interfaz *Gs* entre el SGSN y el MSC/VLR la cual se dejó opcional mientras que la interfaz *Gi* que conecta un GGSN a un PDN no se ha especificado en la norma para permitir que las preferencias de la aplicación. Como se ha mencionado, las actividades estándar GPRS se centraron principalmente en las conexiones PTP a RPD IP en la interfaz *Gi*. Un ejemplo de tal PDN IP puede ser una Intranet corporativa donde el acceso está restringido a los empleados corporativos autenticados que les permite acceder, por ejemplo, la red corporativa y los servidores de correo. Otro ejemplo es la conectividad con un proveedor de servicios Internet (ISP), que ofrece acceso a Internet y servicios relacionados.

6.2.2.4.5 Limitaciones de las tarjetas PCU

Cada tarjeta PCU tiene sus propias limitaciones:

- Número máximo de TRXs
- Número máximo de BTS
- El número máximo de líneas de transmisión hacia la BSC y el SGSN (*Gb*-interface, por ejemplo $N * 64 \text{ Kbit / s}$)
- Número máximo de contextos PDP
- Tráfico máximo (e.g. $N \text{ Mbits / s}$ por PCU)
- Número máximo de áreas de encaminamiento (RA) o ubicación (LA) redundancia [48]

6.2.2.4.6 Seguridad en GPRS

La seguridad es un tema importante en las redes móviles y se ha ganado una atención especial en el mundo GSM. GPRS proporciona una función de seguridad

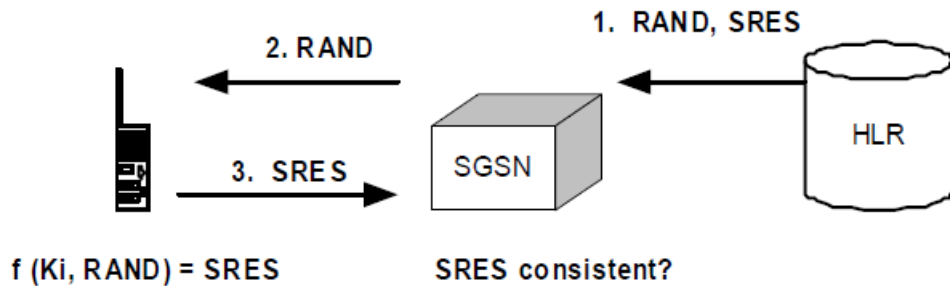
similar a la de GSM. Es responsable de la autenticación y validación de las solicitudes de servicios para prevenir el uso no autorizado de servicio. Confidencialidad del usuario también está protegida mediante identificación temporal durante las conexiones a la red GPRS. Por último, los datos de usuario están protegidos usando técnicas de cifrado.

6.2.2.4.7 Autenticación en GPRS

Autenticación en los sistemas celulares a menudo significa que el uso de un código PIN como un medio de identificación. Tal método no es muy seguro ya que es posible en un entorno de radio para capturar el PIN y por lo tanto para romper la confidencialidad del abonado. Especialmente peligrosa es el hecho de que este PIN se asigna una vez de la suscripción y por lo tanto puede ser capturado de muchas maneras. El enfoque de GSM / GPRS aborda este problema mediante la variación del código de acceso para cada conexión. Un parámetro secreto K_i específica para el usuario se utiliza para calcular un valor compartido utilizando una de una vía dependiente del operador (trampa) algoritmo. Figura 32 muestra el cálculo de autenticación utilizando el parámetro K_i que nunca se transmite a través de la interfaz de aire. La secuencia de la figura se activa cuando las solicitudes de MS se unan a la red GPRS o pueden ser solicitadas por el SGSN si el MS está en itinerancia. el MS se emite un nuevo número aleatorio RAND cuando se requiere autenticación. El MS calcula el SRES valor (resultado firmado) utilizando K_i y RAND y la envía de vuelta al SGSN. [49]

Para la comparación. El procedimiento de autenticación en GPRS se ejecuta desde el SGSN en lugar de la MSC / VLR como en GSM. Figura 35.

Figura 35. El cálculo de autenticación GPRS.



Fuente[49]

6.2.2.4.8 Cifrado en GPRS

Cifrado entre el MS y el SGSN inicia sólo después de que el MS se autentica. Del mismo modo, una clave secreta de cifrado K_c se utiliza en el MS y el SGSN para cifrar el intercambio de mensajes. El ámbito de aplicación de cifrado es del MS al SGSN mientras que en GSM es del MS a la BSS. Esto se hace para simplificar la gestión de claves ya que la selección de células por el MS puede ocurrir con frecuencia y por lo tanto, los paquetes pueden viajar a través de diferentes BTS. En GSM sin embargo, un solo canal lógico se utiliza entre el MS y la BTS en cada momento dado. Además, mediante la ampliación del ámbito de aplicación de cifrado de GPRS, los algoritmos de cifrado se pueden cambiar sin la actualización de todos los elementos del BSS. Alternativamente, los elementos de radio pueden ser actualizados o sustituidos sin necesidad de modificar el mecanismo de cifrado [50].

6.2.2.5 EDGE

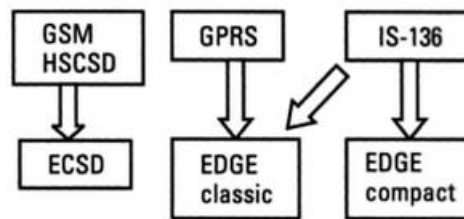
EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) es una tecnología de la telefonía móvil celular global de datos móviles que se pueden introducir en GSM / GPRS e

IS-136 (D-AMPS), Las redes con EDGE permiten velocidades de transmisión de datos de hasta 384 Kbps en el paquete-conmutado; Estos rendimientos se requieren para soportar servicios multimedia. Esto se consigue en el mismo ancho de banda GSM ya existente.

EDGE es considerado en Europa como una generación 2.5 (2.5G) estándar que se ve como una transición de 2G a 3G (segunda generación de redes móviles). No se necesitan nuevas licencias de operador de EDGE. Desde esta función vuelve a utilizar el espectro existente, representa una solución de bajo costo para los operadores que desean ofrecer servicios multimedia a sus redes GSM / GPRS.

EDGE se introdujo en la parte superior de la HSCSD de servicio de datos por conmutación de circuitos de rápida velocidad que se utiliza para transferir datos en el modo de conmutación de circuitos en varias ranuras de tiempo. La evolución de estos servicios con la introducción de EDGE se llama Enhanced Circuit-Switched Data (ECSD). ECSD soporta varios tipos de GSM como: (2,4 Kbps, 9,6 Kbps y 14.4 Kbps) y el CSs que se combina con la modulación, y permiten los siguientes tipos de datos 28,8 Kbps, 32.0 Kbps y 43.2 Kbps por intervalo de tiempo. Por lo tanto, un multi-slot móvil compatible ESCD en cuatro intervalos de tiempo puede llegar a un rendimiento de hasta 172,8 kbps. ECSD utiliza adaptación de enlace dinámica para adaptar el rendimiento a las condiciones de radio en las que el móvil está operando [51].

Figura 36. Convergencia de los diferentes estándares para EDGE



Fuente [51]

6.2.2.5.1 MODULACIÓN EN EDGE

El rendimiento moderado de alta velocidad de datos de circuitos conmutados y GPRS está vinculado a la modulación GMSK y su eficiencia de espectro limitado. EDGE se basa en una técnica de modulación que se denomina modulación por desplazamiento de fase de ocho estados (8-PSK). Esta modulación tiene una constelación de ocho estados que permite la codificación de 3 bits por símbolo, la tasa de bits en bruto es, tres veces mayor que para la modulación GMSK.

El transmisor se adapta EGPRS, la modulación y CSs dependiendo de los MCS utilizados. El receptor no está informado de la modulación que es utilizada por el transmisor. Se tiene que realizar la detección a ciegas de la modulación antes de ser capaz de identificar qué CMS se ha usado.

El soporte de la modulación 8-PSK es obligatorio *para el móvil* en el enlace descendente, pero es opcional en el enlace ascendente. En el lado de la red, modulación 8-PSK es opcional tanto en enlace ascendente y enlace descendente. Así, una red puede soportar EDGE sin la implementación de 8-PSK. En este caso EDGE no proporcionará ninguna otra vez en términos de máximo rendimiento, pero sólo algunas mejoras para la gestión del enlace de radio (RLC mejoras). La importancia de esta solución es muy limitada ya que no hay ganancia en el rendimiento máximo alcanzable.

6.2.2.5.2 EDGE Rel'99

Velocidades de datos mejoradas para la evolución de GSM (EDGE) es una importante mejora en las tasas de datos GSM. Redes GSM ya habían ofrecido servicios avanzados de datos, como circuito de conmutación de 9,6 Kbps servicio de datos y SMS, desde hace algún tiempo, de alta velocidad de datos con conmutación de circuitos (HSCSD), con capacidad de intervalos múltiples y la introducción simultánea de 14,4 Kbps por los datos del canal temporal, y GPRS son tanto grandes mejoras, el aumento de las velocidades de datos disponibles a partir de 9,6 Kbps hasta 64 Kbps (HSCSD) y 160 (Kbps GPRS).

EDGE se especifica en una forma que mejoran el rendimiento por ranura de tiempo para tanto HSCSD y GPRS. La mejora de HSCSD se llama ECSD (Enhanced Circuit-Switched Data), mientras que la mejora de GPRS se llama EGPRS (Enhanced general conmutada de datos), en ECSD, la tasa máxima de datos no aumentará de 64 Kbps a causa de las restricciones en el A -interfaz, pero la tasa de datos no se incrementará de 64 Kbps a causa de las restricciones en la interfaz A, pero la velocidad de datos por intervalo de tiempo se triplicará. Del mismo modo, en EGPRS, la velocidad de datos por intervalo de tiempo se triplicará y el rendimiento máximo, con los ocho segmentos de tiempo en la interfaz de radio, llegará a 473 kbps.

La normalización de EDGE es la piedra angular principal para la integración de los dos principales de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) Normas, especificado en ETSI GSM e IS-136 se especifica en las telecomunicaciones

Industry Alliance / Alianza de Industrias Electrónicas (TIA / EIA) en el mismo camino de evolución.

TIA/EIA-136 es el resultado de la evolución de las redes celulares de Estados Unidos. Mientras GSM era digital desde el principio, TIA/EIA-136 ha sido digitalizada en etapas. El primer paso fue la introducción de canales de tráfico digitales (CCT) En la versión IS-54 estándar. Los comunicados de IS-136 introducen canales de señalización digitales, una mejor calidad de voz con un códec de voz mejorada y el funcionamiento de doble banda normalizado. Al igual que en Europa, la próxima ola en la complementación de las capacidades de TIA/EIA-136 en los Estados Unidos fue atacado en la búsqueda de solución de alta velocidad de datos 3G adecuado.

6.2.3 CDMA

Dado que el desarrollo de espectro ensanchado se dio como una tecnología militar, las técnicas de CDMA han sido tradicionalmente limitadas a los sistemas militares. Sin embargo, desde principios de la década de 1990, CDMA ha sido investigado en gran medida para los sistemas celulares comerciales. El primer estándar CDMA comercial, IS-95, fue creado por Qualcomm, Inc. fue una de los tres principales estándares celulares de segunda generación y llevó a una tercera generación de sistemas celulares que estaba dominada por las técnicas de CDMA (por lo menos para el servicio de voz).

Todos los sistemas de comunicación que soportan múltiples usuarios deben tener un conjunto protocolos para permitir que estos múltiples usuarios compartan un medio de acceso común. Este medio de un solo acceso puede ser explícitamente

compartido o se divide en segmentos más pequeños, denominados canales, que también deben ser compartidos. Un canal lógico se puede definir como una fracción del medio de acceso disponible que se utiliza por un particular en una transmisión/recepción par. El sistema puede contener sólo un único canal o decenas pares en el sistema típicamente mucho mayor que el número de canales que hay disponibles. Por lo tanto, los sistemas de comunicación deben tener algún mecanismo para compartir los canales disponibles entre trasmisores / receptores pares activos.

Una clave para libre de contención de acceso múltiple es la definición de los canales ortogonales que son canales en el que un usuario del sistema puede comunicar sin causar interferencia a otro usuario. El ortogonalidad se puede crear en el dominio del tiempo o en el dominio de frecuencia. En el TDMA, los usuarios transmiten simplemente a veces diferentes, manteniendo así la ortogonalidad en el dominio del tiempo. En FDMA, los usuarios transmiten en diferentes bandas de frecuencia, que crean ortogonalidad en el dominio de frecuencia, ya receptores pueden filtrar las bandas de frecuencia no deseadas. En realidad, los canales en estas técnicas de acceso no son verdaderamente ortogonales ya que se hacen para filtros imperfectos o sincronización de tiempo imperfecta, pero la interferencia entre canales es muy pequeña.

En los sistemas CDMA, los canales no se definen por el tiempo o frecuencia en vez de eso por códigos. Los Sistemas de espectro ensanchado se basan en formas de onda pseudo-aleatoria denominada códigos de ensanchamiento para crear Transmisiones ruido-como. Si los usuarios se pueden dar diferentes códigos que tienen propiedades de baja correlación cruzada, los canales pueden ser definidos por los códigos. Para entender mejor esto, consideremos un sistema FDMA poco con dos canales [52].

Los siguientes son las principales cualidades de las tecnologías CDMA:

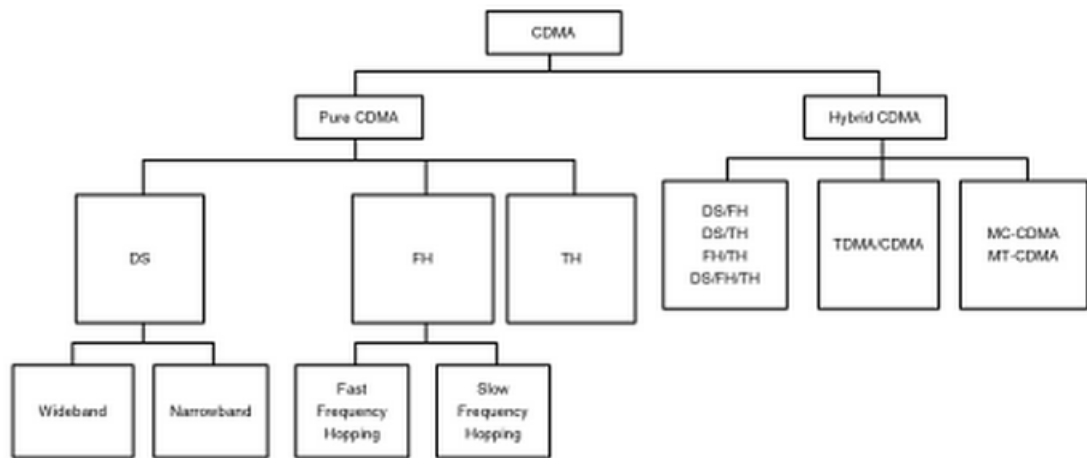
- Capacidad de acceso múltiple
- Protección contra la interferencia multi-trayecto
- Privacidad, rechazo de interferencias
- Capacidad anti-jamming
- Baja probabilidad de interceptación
- Posibilidad de superponer con los sistemas de radio existentes
- baja emisión de potencia de transmisión, lo cual es importante para reducir los riesgos de salud.

Obviamente, debido a sus características únicas CDMA ha surgido como uno de los múltiples tecnologías de acceso más importantes para las segunda y tercera generaciones (2G/3G) en sistemas de comunicación inalámbricos, ejemplificadas por sus amplias aplicaciones en muchos estándares celulares móviles importantes, tales como el IS-95, cdma2000, UMTS-UTRA, WCDMA, y TD-SCDMA, que fueron propuestas por TIS/EIA de los EE.UU. (IS-95 y cdma2000), ETSI de Europa (UMTS-UTRA), ARIB de Japón (WCDMA) y CATT de china (TD-SCDMA), respectivamente.

Hay muchos tipos diferentes de sistemas híbridos CDMA, que pueden formarse por varias combinaciones de DS, FH y TH, junto con multi-portadora (MC) y técnicas de multi-tonos (MT), como se muestra en la figura 37, donde se representa el árbol genealógico de las diversas formas de las tecnologías CDMA. Se aclara en éste análisis principalmente se ocupa de los sistemas basados en CDMA DS y sus problemas de evolución. Sin embargo, las conclusiones aquí

también se pueden encontrar igualmente relevantes para otros sistemas CDMA. Uno de las características más importante de un sistema CDMA es que permite a todos los usuarios enviar su información en la misma banda de frecuencia y la misma duración de tiempo, pero haciendo uso de diferentes códigos [53].

Figura 37. Árbol genealógico de varias tecnologías CDMA



Fuente[53]

En este aparte de la monografía, se observará el desarrollo de los principales estándares celulares móviles de 3G y 2G (es decir, IS-95 y W-CDMA), ya que ambos están basados en la tecnología CDMA, se discuten. El estándar IS-95 como una tecnología 2G, que sin duda, se erige como un hito que marca la primera aplicación de sistemas de comunicaciones civiles exitosa. CDMA es la tecnología. Por lo tanto la elaboración de la norma IS-95 es realmente un gran logro de la industria, por su profundo impacto histórico, que permanecerá para siempre.

Qualcomm ha hecho una gran contribución al desarrollo de los sistemas IS-95. Si son trabajos pioneros significativos. El éxito de IS-95 habría sido imposible. Gran

número de los derechos de propiedad intelectual (IPR) y la propiedad de muchas tecnologías CDMA a nivel de Core son de la compañía Qualcomm, esto explica lo importante que es.

Como se mencionó anteriormente, la importancia de la norma IS-95 se destaca por su exitosa aplicación de la tecnología CDMA en sistemas de comunicaciones móviles celulares civiles por primera vez en la historia, marcando el comienzo de una nueva era de CDMA.

El estándar TIA / EIA IS-95 fue lanzado por primera vez en julio de 1993; la revisión se publicó en mayo de 1995 y es la base de muchos de los sistemas CDMA 2G adelantados comercialmente en todo el mundo.

IS-95A describe la estructura de los canales de banda ancha de 1,25 MHz CDMA, control de potencia, procesamiento de llamada, trasposos, y técnicas de registro para operación sistema. Además de los operadores de servicios de voz, muchos IS-95A proporcionan datos conmutación de circuitos a 14,4 kbps. IS-95A se lanzó en septiembre de 1996 por Hutchison. Hong kong [54].

7 TECNOLOGÍAS IMT-2000 (3G)

Si bien habían varias normas inalámbricas y sistemas que calificaban para ser parte de la tercera generación (3G), A mediados de la década de 1990, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) inició un esfuerzo para desarrollar un marco de normas y sistemas que proporcionaran servicios de telecomunicaciones, inalámbricas y ubicar a usuarios en cualquier lugar en cualquier momento.

La UIT creó “Las Telecomunicaciones Móviles Internacionales – 2000” (IMT-2000), la cual publicó una serie de requisitos de rendimiento de 3G, que son los siguientes (tanto para los datos de conmutación de circuitos y conmutación de paquetes):

- Una velocidad de datos de 144 Kbps mínima en el entorno vehicular;
- Una velocidad de datos mínima de 384 Kbps en el entorno peatonal
- Una velocidad de datos mínima de 2Mbps en el ambiente interior.

La UIT planeó una reunión para tomar una decisión final sobre los sistemas IMT-2000 en Fortaleza, Brasil, para marzo de 1999. Desafortunadamente, a pesar de la insistencia de la UIT, la ETSI, y los operadores de redes móviles de todo el mundo, no llegaron a un acuerdo de esta importante reunión de la UIT. Pero pocos días después de la reunión sin éxito.

Ericsson y Qualcomm hicieron un anuncio repentino de un acuerdo de gran avance. En resumen, las empresas acordaron que Ericsson compraría la unidad de infraestructura de Qualcomm y entrarían en una serie de acuerdos de licencias cruzadas, resolverían litigios existentes, y que hasta que no se emitiera la sentencia de derechos de propiedad intelectual (IPR), pedida por la UIT,

declarando que licencias estarían disponibles en términos y condiciones justas, como una parte de la disposición razonable y no discriminatoria, ambas partes acordaron también retirar sus bloqueos de patentes para los estándares de tercera generación.

Después de que este acuerdo se hizo público, Qualcomm dijo que se centraría en su negocio principal, el desarrollo de terminales CDMA y el diseño de conjuntos de chips; La división de infraestructura aun siendo de Qualcomm fue vendida a Ericsson, en general se conoce que esta división era rentable, y muchos observadores creen que el acceso a derechos de propiedad intelectual de Qualcomm resultó muy costoso para Ericsson.

Es notable, sin embargo, que la solución de controversias entre Ericsson y Qualcomm no dio lugar a un acuerdo sobre un único estándar CDMA o dos normas con una frecuencia de segmentos idénticos. Esto es lo que ambas partes alegaron que querían (aunque en condiciones diferentes). Posiblemente, el interés de los operadores GSM difiriendo mucho de la de los operadores cdmaOne, es que dos normas diferentes se adaptan mejor a los mercados de todo el mundo que uno sola norma.

De hecho, el objetivo del OHG (Operators Harmonization Group) fue desarrollar un conjunto común de ganchos y extensiones entre las propuestas del 3GPP y 3GPP2 para satisfacer todos los intereses. A principios de 1999, el OHG invitó a los fabricantes a participar en el debate, y no más tarde de mayo de 1999, los fabricantes OHG y los participantes concluyeron el debate de armonización en una reunión en Toronto, Canadá.

Se acordó que tres modos diferentes debían basarse en propuestas existentes de 3GPP y 3GPP2, con algunas adiciones y modificaciones; Todas basadas en CDMA. Además, se adoptó un cuarto modo, basado en TDMA, sobre la base de las propuestas UWC-136 y EDGE. Los cuatro modos resultantes y los cambios solicitados se pueden ver en las Tablas 2 y 3 respectivamente. OHG continuación, pidió a los dos proyectos de cooperación existentes (3GPP y 3GPP2) para la aplicación de las adiciones y modificaciones especificadas, a la que ambos proyectos de asociación reaccionaron positivamente [55].

Tabla 2. Origen de los modos opcionales definidos por OHG, y los cambios solicitados

<i>Optional mode</i>	<i>Based on</i>	<i>Changes requested by OHG</i>
Direct Sequence WCDMA	FDD WCDMA, as specified by 3GPP, which was in turn based on the FDD mode of the UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA)	Chip rate down from 4.096 to 3.84 Mchip/s. Support for ANSI IS-41 signaling in a second phase
Multicarrier CDMA	cdma2000, as per 3GPP2	Support for GSM/MAP signaling in a second phase
TDD WCDMA	TDD WCDMA, as specified by 3GPP, which was in turn based on the TDD mode of the UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA)	Harmonization with the Chinese TD-SCDMA
EDGE/UWC-136	EDGE Protocol as defined by ETSI and UWC	

Fuente [55].

Después de seleccionar estos cuatro modos de radio, el OHG solicitó la velocidad de chip de la norma 3GPP (es decir, UMTS / WCDMA) Para ser bajado a un valor menor que 5% de su homólogo. Esto hace que los terminales multimodo rentables sean factibles. En segundo lugar, se solicitó a todos los desarrolladores soportaran los dos protocolos de señalización GSM/MAP y IS-41, por lo menos en una segunda fase de sus estándares.

Luego la 3GPP y la ETSI tomaron la decisión crucial para reducir su velocidad de chip de 4.096 en el enlace descendente a 3,84 Mchip/s. También acordaron incluir

un piloto común por su modo de FDD que soportara el protocolo de señalización IS-41 en una segunda fase del estándar.

La 3GPP anuncio que su primer lanzamiento completo de la norma estaría listo para 31 de diciembre 1999, por lo que podría ser desplegado en Japón a principios de 2001. La 3GPP2 tomó la decisión de apoyar a GSM/MAP en una segunda fase de su estándar. También acordaron abandonar su propuesta de banda ancha DS-SS-SS. Como resultado, en la actualidad sólo queda un estándar DS-SS-SS de banda ancha. (El modo FDD UMTS de 3GPP, ETSI y ARIB), y una norma de MC-SS-SS de banda ancha (El estándar cdma2000 de la 3GPP2, TTA, ARIB, TTC, TTA, y CWTS).

Tabla 3. Características técnicas de los diferentes modos opcionales según lo definido por OHG

<i>Optional mode</i>	<i>Direct Sequence CDMA</i>	<i>Multicarrier CDMA</i>	<i>TDD CDMA</i>	<i>EDGE/UWC-136</i>
Multiple Access Technology	Direct sequence CDMA (DS-SS-SS)	Multicarrier CDMA (MC-SS-SS)	CDMA, with an additional TDMA component	TDMA
Duplex technology	FDD	FDD	TDD	FDD
Spectrum to be utilized	Paired IMT-2000 spectrum	Existing cdmaOne spectrum (overlay)	Unpaired IMT-2000 spectrum	Existing 200-kHz channels (addition to GSM or D-AMPS)
Chip rate	3.84 Mchip/s	3.6864 Mchip/s	3.84 Mchip/s	N/A
Base-station operation	Asynchronous ⁸⁸	Synchronous	Asynchronous	Asynchronous
Signaling protocols	Phase 1: GSM/MAP Phase 2: ANSI-41	Phase 1: ANSI-41 Phase 2: GSM/MAP	Phase 1: GSM/MAP Phase 2: ANSI-41	GPRS-based for both GSM/MAP and ANSI-41

Fuente. [55]

7.1 UMTS

7.1.1 ORIGENES DE UMTS

Los sistemas de telefonía móvil han experimentado un nivel de crecimiento sin precedentes en el mundo de las telecomunicaciones. Cuando las primeras tecnologías celulares fueron puestas en servicio, a principios de la década de 1990 vimos un bastante lento despegue de la curva de crecimiento en el número de suscriptores, casi presagiando el espectacular crecimiento posterior.

A principios de 2001 ya había unos 450 millones de suscriptores GSM en el mundo (incluyendo más de 40 millones en el Reino Unido), las denominadas tecnologías de segunda generación en conjunto (GSM, IS-95, AMPS, PDC) tenían en total más de 600 millones de suscriptores. Todavía hay, sin embargo, un fantasma en la fiesta. Para cumplir con el espectacular crecimiento de los últimos años, algunos y, por desgracia, se han utilizado muy diferentes tecnologías incompatibles.

La incompatibilidad entre los sistemas: PDC, AMPS y GSM se manifiesta de varias formas diferentes de la primera, las principales diferencias se manifiestan en: El uso del segmento de radio prevenir cualquier móvil de trabajo en una red que utiliza una tecnología diferente de aquel para el que fue diseñado. Las diferencias entre las tecnologías de radio utilizadas por los sistemas de segunda generación se encuentran en tales aspectos fundamentales como el método de modulación, la banda de frecuencia utilizada, y la estructura de los canales físicos. La tabla N

ilustra algunas de estas diferencias para los cuatro sistemas principales de comunicación de radio celular: GSM, IS-136, IS-95 y PDC [56].

Tabla 4. Principales diferencias tecnológicas entre GSM, IS-95, IS-136 y PDC

	GSM	IS-95	IS-136	PDC
Modulation method	GMSK	QPSK	DQPSK	QPSK
Access method	TDMA/FDMA	CDMA	TDMA	TDMA
Frequency band (MHz)	900/1 800/1 900	800/1 900	800/1 900	800/1 400
Bandwidth (kHz)	200	1,250	30	25
Usage	Worldwide	American continent, Asia	North America	Japan

Fuente[56].

7.1.2 AVANCES HACIA UNA NORMA COMÚN

La incompatibilidad entre los sistemas de segunda generación tiene muchos inconvenientes, por ejemplo para los viajeros que van a países en los que la tecnología que les ofrece su operador no está presente, y se encuentran repentinamente privados de su medio de comunicación.

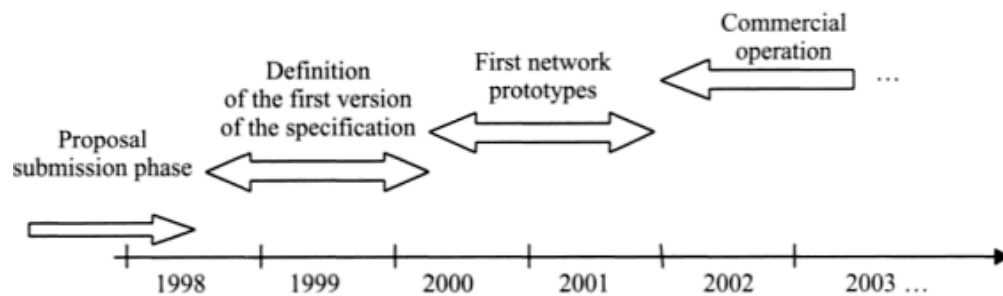
Los operadores que han optado por las tecnologías celulares minoritarias van a sufrir una pérdida de ingresos por suscriptores de roaming, que no pueden conectarse a sus redes.

El desarrollo de una tecnología de comunicación celular constituye un esfuerzo importante para un proveedor de equipos, que tiene un efecto directo sobre el precio de venta de los sistemas. La multiplicación de las tecnologías celulares,

evita que los operadores se beneficien de las economías de escala, que una tecnología común, desplegada en una escala global, traería.

Desde la idea de la tercera generación, la segunda generación de sistema de comunicación de radio comenzó a germinar, por lo tanto se tuvo un fuerte deseo por parte de los operadores a nivel mundial para definir un estándar común [56].

Figura 38. Línea de Tiempo de IMT-2000



Fuente [56].

7.1.3 CLASES DE SERVICIO UMTS

Con el fin de cubrir el conjunto de las necesidades de servicio actuales y futuras previstas para UMTS, se han definieron cuatro clases de servicio que se agrupan de acuerdo con sus respectivas limitaciones. Las principales limitaciones que se tienen en cuenta son:

- Retardo de transferencia de información.
- Variación de retardo de transferencia de información.
- La tolerancia a los errores de transmisión.

El retardo de transferencia de información es especialmente importante para las aplicaciones interactivas con restricciones en tiempo real fuertes (por ejemplo, la telefonía clásica o video-telefonía). Un deterioro, incluso ligero (unos pocos cientos de milisegundos) en el retardo de transferencia se convierte rápidamente insoportable para el usuario. (Este es generalmente el caso de las conexiones telefónicas satelitales) Uno por otro lado, tiene poca importancia para los servicios basados en Internet (el comercio electrónico de navegación, etc), para que los usuarios se acostumbren fácilmente a un tiempo de respuesta del orden de un segundo.

El retardo de transferencia de información es especialmente importante para las aplicaciones interactivas con restricciones de tiempo real fuertes (por ejemplo, la telefonía clásica o video-telefonía). Un deterioro, incluso ligero (unos pocos cientos de milisegundos) en el retardo de transferencia se convierte rápidamente insoportable para el usuario. (Este es generalmente el caso de las conexiones telefónicas satelitales) Uno por otro lado, tiene poca importancia para los servicios basados en Internet (el comercio electrónico de navegación, etc), a los que los usuarios se acostumbran fácilmente a un tiempo de respuesta del orden de un segundo de variación de retardo de transferencia de información es igualmente crítico para aplicaciones con restricciones de tiempo real en los que es importante que el espacio entre los paquetes de información en la fuente sean fielmente restaurados en el terminal receptor.

En el caso de la telefonía clásica, los recursos específicos de velocidad constante se asignan a la comunicación, como resultado, el retardo de transferencia sufre poca variación. Este no es el caso con las aplicaciones de telefonía o de radiodifusión de vídeo en Internet, para lo cual es esencial adoptar mecanismo especial para compensar la "fluctuación" generada por la red de transmisión.

La tolerancia a los errores de transmisión es un factor importante para las aplicaciones de transmisión de datos. Estas aplicaciones (como la descarga de archivos, transacciones bancarias o comercio electrónico) exigen que la información se transmita fielmente por la red. Este no es el caso con las aplicaciones de telefonía del tipo clásico, que pueden aceptar una tasa de errores mucho más alta. La percepción humana es bastante tolerante a los errores de transmisión en aplicaciones telefónicas.

Las cuatro clases de servicio definidas en el marco UMTS se pueden dividir en dos grupos:

- Clase A (conversacional) y Clase B (streaming) para aplicaciones con restricciones de tiempo real.
- Clase C (interactivo) y la clase D (de fondo) para aplicaciones que utilizan datos sensibles a errores de transmisión.

A medida que se ejecutaban las ideas y principios arquitectónicos de la norma UMTS, se dieron cuenta rápidamente los diferentes grupos 3GPP habían llevado a cabo una tarea de modelización significativa. Este modelo introdujo varios conceptos, en comparación con el estándar GSM o estándares de los demás estándares de segunda generación.

Una red UMTS se compone de dos niveles principales, uno llamado "Access Stratum" y el otro llamado "Non Access Stratum" Esto corresponde a un desglose lógico de las funciones de la red [56].

3.4 ARQUITECTURA DE RED

UMTS mantiene una estricta separación entre el subsistema de radio y el subsistema de red, permitiendo que el subsistema de red pueda ser reutilizado con otra tecnología de acceso de radio. La red central se adoptó de GSM y se

compone de dos dominios del tráfico que dependen del usuario y varias entidades comúnmente utilizadas. Los dominios de tráfico dependientes, corresponden a las redes centrales GSM o GPRS y estas deben manejar:

- Circuito de encendido tipo de tráfico en el dominio CS
- Tipo de conmutación de paquetes de tráfico en el dominio PS

Ambos dominios de tráfico dependientes de utilizar las funciones de las entidades restantes como el Home Location Register (HLR), junto con el Centro de autenticación (AC), o el Registro de Identidad de Equipo (EIR) - para la gestión de abonados, de la estación móvil en Roaming así como la identificación, y facturación de los diferentes servicios.

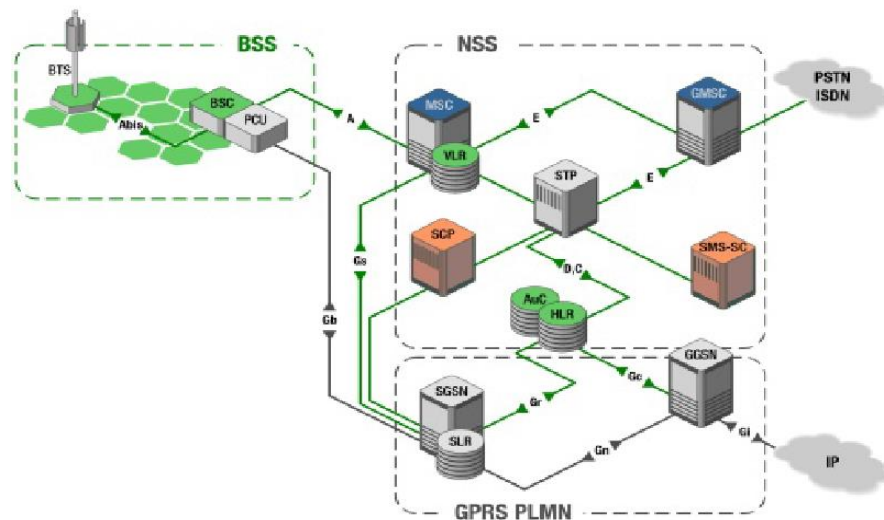
Por lo tanto el HLR contiene GSM, GPRS, y la información de abonados de UMTS. Dos dominios manejan sus tipos de tráfico, al mismo tiempo, para el acceso a las redes GSM y UMTS.

El dominio de CS (conmutación de circuitos) se encarga de todo tipo de tráfico para la red GSM así como para la red de acceso UMTS, de manera similar, el dominio PS se encarga de todo el tráfico de conmutación de paquetes en ambas redes de acceso [57].

A continuación se describen cada uno de los avances presentados en UMTS a lo largo del tiempo:

Para realizar un comparativo con la arquitectura de tercera generación, la anterior segunda generación de PLMN, específicamente para una red GSM, la cual está representada en la Figura 40, como ya se habló anteriormente, esta, consta de Subsistema de red de conmutación (NSS) y un subsistema de estación base (BSS). La primera etapa de la evolución (2,5 G) es una red GPRS PLMN conectado a una PLMN GSM para la transmisión de paquetes orientada.

Figura 39. Arquitectura de red GSM



Fuente. [58]

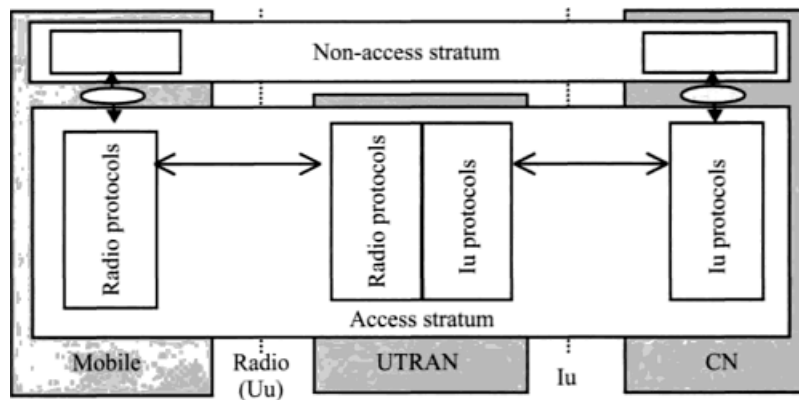
7.1.4 ACCESS STRATUM (AS) Y NON ACCESS STRATUM (NAS)

Teniendo en cuenta el modelo de referencia OSI, el Access Stratum (AS) hace referencia a las capas más bajas (1 a 3), reúne todas las funciones de la red UMTS que se conectan con la red de acceso, como los protocolos y gestión de los recursos de radio. Por definición la UTRAN, que comienza en la red de acceso al

UMTS, está completamente incluida en el AS. Sin embargo, también incluye parte del equipo móvil, así como parte del Core correspondiente a protocolos de la interfaz Iu

El NAS hace uso del AS para transferir datos entre el Core y el UE, El Core y el UE incluyen tanto capas AS como capas NAS, mientras que el RNC y Nodo B incluyen únicamente las capas AS [57]

Figura 40. Access Stratum and Non-Access Stratum



Fuente[57]

La Tabla 2, muestra las principales funciones de una red UMTS divididas en entre los dos estratos.

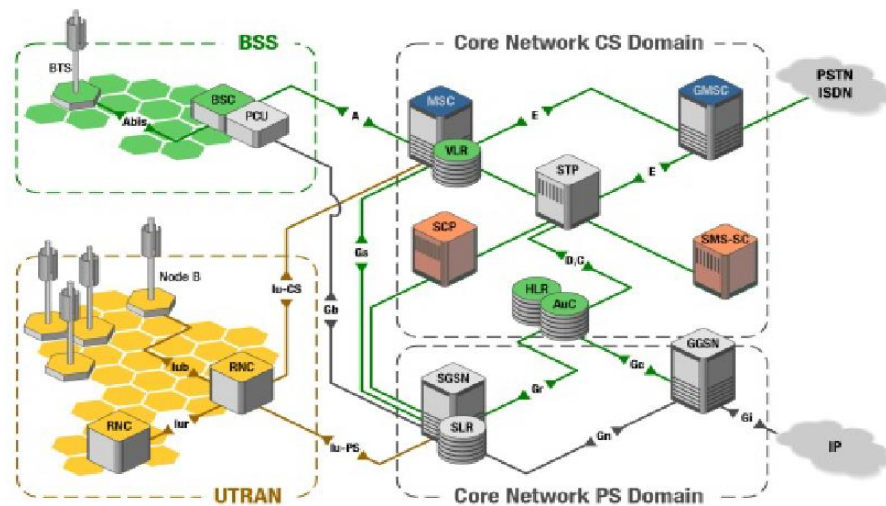
Tabla 5. Allocation of UMTS functions to AS and NAS

	Access stratum	Non-access stratum
Management of call signalling		×
Authentication		×
Handover	×	
Management of supplementary services		×
Management of radio resources	×	
Encryption	×	(×)
Compression	×	(×)
Billing mechanisms		×

Fuente [57]

7.1.5 UMTS Release 99

Figura 41. Arquitectura de red UMTS Rel. 99



Fuente. [58]

La Figura 41. muestra estructura básica de la arquitectura en una red un UMTS Rel. 99. Que consta de los dos diferentes partes de acceso de radio BSS y UTRAN y las partes de del Core para la conmutación de circuitos (por ejemplo, voz) y las aplicaciones de conmutación de paquetes (Navegación en Internet) [59].

La implementación de UMTS significa la creación de una Red de Acceso de Radio Terrestre UMTS (UTRAN), que está conectado a un circuito de conmutación del Core (GSM con el MSC/VLR) y a una red central de conmutación de paquetes (GPRS SGSN con más Registro de Localización de Función - SLR).

Las interfaces se denominan IuCs cuando van desde la UTRAN al MSC y IuPS cuando van al SGSN. Alternativamente, las conexiones de red de circuitos y de paquetes también podrían realizarse con un UMSC que combina funcionalidades MSC y SGSN en un elemento de red.

El elemento al borde de la UTRAN es el Controlador de Red de Radio (RNC). A diferencia del BSS en la UTRAN las RNCs están conectadas entre sí a través de la interfaz Iur.

Las estaciones base de UMTS se denominan Nodos B, que es sólo el nombre de trabajo y no tiene ningún otro significado. La interfaz entre el RNC y el Nodo B es la interfaz Iub.

El Release 99 (a veces también llamado Release 3) especifica los requisitos básicos para desplegar una red de acceso radio UMTS 3G. Un entorno de red real en el futuro nunca será diseñado siguiendo estrictamente cualquier norma de liberación definida. Este debe ser visto como una especie de mosaico que se estructura siguiendo los requisitos de los operadores de redes y proveedores de servicios.

7.1.6 UMTS Release 4

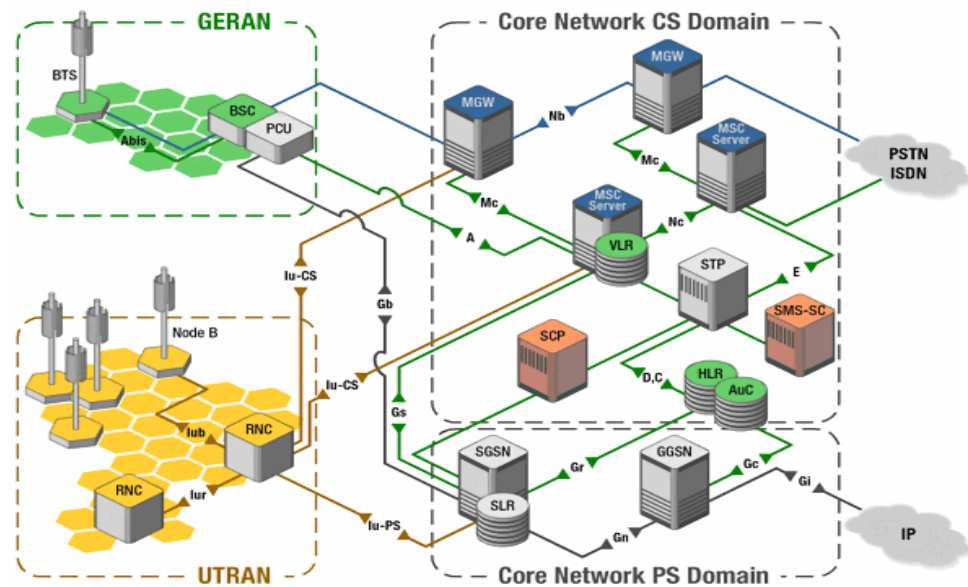
7.1.6.1 Cambios en Release 4

UMTS Release 4, de la 3GPP introduce algunos cambios importantes y nuevas características en los dominios de la red básica y la GERAN (GPRS / EDGE Radio Access Network), que sustituye la GSM BSS. Algunos de los cambios más importantes son:

- Separación de portador de transporte y de control de portador en el Core CS.
- Introducción de nuevas interfaces de red básica CS.
- ATM (AAL2) o IP ahora se pueden utilizar como portador de transporte de datos en el dominio de CS [57].
- Introducción de baja velocidad de chip (también llamado: de banda estrecha) TDD. Describe la tecnología de acceso de radio detrás del estándar chino TD-SCDMA, mientras que UMTS TDD (ancho de banda TDD, TD-CDMA) es visto como dominar la tecnología TDD en las normas europeas y asiáticas fuera de China. Se espera que la interferencia en la baja tasa de chips TDD tiene menos impacto en la capacidad de la célula en comparación con igual vigor en banda ancha TDD. Además bajo equipos TDD chiprate apoyará las tecnologías de transmisión de radio avanzadas como "antenas inteligentes" y la formación de haz, lo que significa apuntar una antena o un conjunto de antenas en la fuente de señal para reducir la interferencia y mejorar la calidad de la comunicación.
- Interfaz Gb basada en IP.
- Soporte IPv6 (opcional).

El la figura 42 se muestra el diagrama de arquitectura de red para UMTS Rel. 4 adicionado a la arquitectura de GSM.

Figura 42. Arquitectura de Red UMTS Rel. 4.



Fuente [58]

7.1.6.2 NUEVAS CARACTERÍSTICAS Y SERVICIOS DE UMTS

- Servicios Multimedia en el dominio CS
- Entrega de aplicaciones en tiempo real (Real Time)
- en el dominio PS
- Transporte Evoluciones UTRAN o AAL2 conexión QoS optimización Iub e Iur sobre interfaces de transporte o procedimiento de modificación de portador de Iub, Iur y Iu [57]
- El transporte de IP de la red básica (CN) protocolos
- Radio Interface mejoras o UTRA repetidor especificación o DSCH mejora de control de potencia

- RAB QoS Negociación sobre la interfaz lu durante Reubicación
- RAN mejoras o Nodo B para sincronización TDD o mejora de la compatibilidad RAB • Transparente End-to-End PS aplicaciones de streaming móvil
- Mejoras de llamadas de emergencia para llamadas basadas en CS
- Portador independiente arquitectura CS
- El tiempo de fax real
- Funcionamiento Sin Tándem
- Transcodificador Operación libre
- ODB (operador determinado de llamadas) para paquetes de Servicios Orientados
- Servicio de Mensajería Multimedia
- UICC / (U) SIM mejoras y el inter funcionamiento
- (U) SIM toolkit mejoras o USAT enlace local o UICC API pruebas o Protocolo de Normalización de un SIM Toolkit Intérprete
- QoS fiable para PS dominio

La principal tendencia en Rel. 4 es la separación de los servicios de control y de las conexiones CS y al mismo tiempo de la conversación de la red para ser totalmente basada en IP.

En el Core CS, el flujo de datos de usuario pasará a través de Media Gateways (MGW), que son elementos de mantenimiento de la conexión y la realización de funciones de conmutación cuando se requiera (funciones de conmutación al portador de la MSC se proporcionan por el MGW).

El proceso es controlado por un elemento separado evolucionado desde el MSC/VLR llamado servidor MSC (funciones de control de la MSC se proporcionan por el servidor de MSC y también contiene el registro de localización de visitantes (VLR) funcionalidad), que es en términos de voz sobre redes IP una puerta de enlace de señalización. Un servidor MSC controla numerosas MGWs. Para incrementar la capacidad de control, se añadirá un nuevo MSC Server. Para aumentar la capacidad de conmutación, hay que añadir MGWs.

7.1.7 UMTS Release 5 (HSDPA)

7.1.7.1 Cambios en Release 5

Desde que UMTS se introdujo en 3GPP como Release 99 (R99) la necesidad de mejorar el apoyo a los servicios y descargas de datos, han aumentado. Las tasas más altas y la reducción en los retrasos fueron los grandes motores para la introducción de HSDPA en el Release 5, y en ese momento se decidió también que los cambios físicos deberían ser mínimos, y tanto los móviles en R99, como los móviles HSDPA, deben funcionar en la misma red.

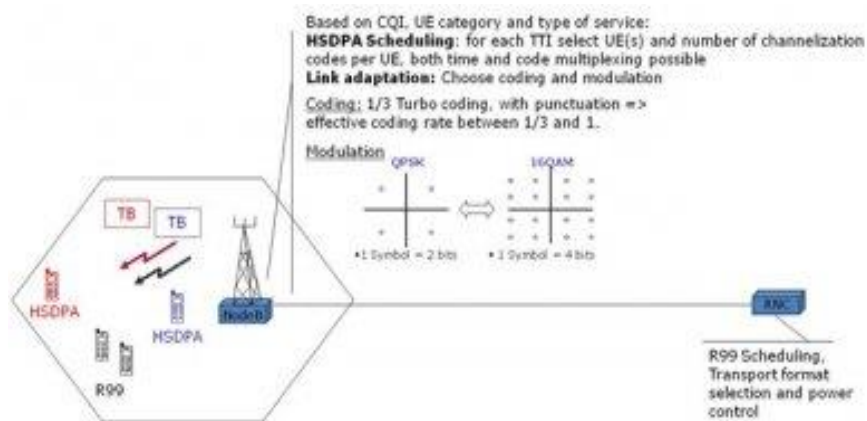
Para ser capaz de tomar decisiones rápidas sobre la asignación de canales de radio, adaptarse a las variaciones de calidad de canal, y para reducir los retardos, se hizo necesario añadir algunas funciones de la interfaz de radio específicamente sobre el Nodo B:

- Scheduling, Los UEs pueden seleccionar los recursos de radio en cada intervalo de tiempo de transmisión (TTI), donde uno TTI es de 2 ms.

- Modulación adaptativa, ajuste del establecimiento de la tasa de codificación de canal y tipo de modulación (QPSK o 16QAM), con el fin de utilizar eficazmente los recursos.

Las decisiones ahora se basan en la información de calidad de canal (CQI) que es proporcionado por el UE, La categoría del UE, así como el tipo de servicios. Exactamente un bloque de transporte (TB) se entrega en cada TTI, como se observa en la Figura 43.

Figura 43. HSDPA Scheduling y el Link adaptation se llevan a cabo en el Nodo B.



Fuente[58]

En R99 la RNC está a cargo de todo lo relacionado con el manejo de los recursos de radio; programación así como la selección de formato de transporte y ajuste de objetivo para el control de potencia (control de potencia de bucle exterior) con el fin de proporcionar la velocidad de datos requerida para el servicio específico para los UEs conectados. El formato de transporte indica el número de TBs así como el tamaño de los OT por TTI, en el que R99 es 10 ms. Tenga en cuenta que en R99 recursos se asignan durante la duración del servicio - una conexión se establece,

a pesar de que el cambio de canal es posible, mientras que en los recursos HSDPA se asignan por TTI.

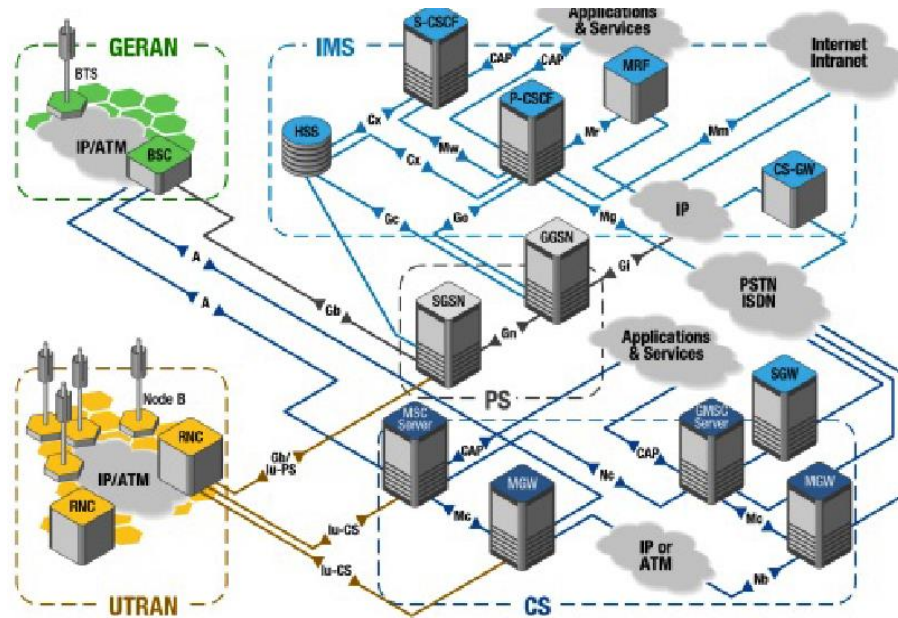
Los datos de usuario en HSDPA se llevan a cabo el nuevo canal compartido de transporte, de alta velocidad de DL-Canal Compartido (HS-DSCH), que a su vez es llevado por uno o más alta velocidad física DL-Canal Compartido (HS-PDSCH), cada uno usando una canalización código con el SF = 16. El número de HS-PDSCH puede variar de 1 a un máximo de 15. En R99 el canal físico que transporta datos de usuario se puede asignar un código de canalización con SF oscila entre 4 y 512. R99 y HSDPA utilizarán códigos de canalización del mismo árbol de código, ver figura 2. Por lo tanto todos los canales DL dentro de una célula son ortogonales en el punto de la transmisión, en el punto de recepción hay sin embargo, será alguna interferencia, debido principalmente a la multi-ruta de la decoloración [58].

Una característica importante en HSDPA es que los códigos de canalización se pueden compartir no sólo a través de la multiplexación de código, al igual que en R99, sino También el uso de multiplexación en el tiempo donde, un UE se le asigna todos los códigos de canalización disponibles para HSDPA en un TTI y otro UE pueden utilizar todos los recursos en el siguiente TTI. A través del tiempo multiplexar los recursos de radio se pueden utilizar más eficientemente que con el código de multiplexación ya que en cada TTI de los recursos pueden ser asignados al UE experimentar el mejor canal de radio. Por supuesto, si los datos que se entregarán no requieren todos los códigos disponibles, entonces multiplexación código se puede utilizar.

La velocidad del canal es máxima para HSDPA 14,4 Mbps, con una velocidad de datos de usuario pico de 13,4 Mbps (en el nivel MAC), en comparación con una tasa de datos de usuario máxima de 384 kbps para R99. En R99 es posible utilizar la retransmisión, ARQ, en la capa de protocolo RLC, entre el UE y el RNC, pero en HSDPA ARQ híbrida (HARQ) se introduce que permite la retransmisión en la capa física entre el UE y el Nodo B. ARQ se basa en la detección de errores sólo, mientras HARQ utiliza tanto la detección de errores hacia adelante y corrección.

En HSDPA también una combinación suave se utiliza, lo que significa que un TB defectuoso recibido se almacena en un búfer de recepción y recombina con la TB retransmitidos, con el fin de mejorar la probabilidad de una decodificación correcta. HARQ también funciona mucho más rápido que ARQ, desde HARQ se utiliza por la tuberculosis y en la capa física, y ARQ se utiliza por PDU de RLC, incluidos los datos para los OT y posiblemente muchos más capas de protocolo están involucradas. HARQ se utiliza tanto en tiempo no real, así como los servicios en tiempo real. ARQ sigue siendo útil para servicios que no son en tiempo real cuando HARQ falla. Para evitar estancamiento debido a los tiempos y las posibles retransmisiones de procesamiento, hasta 8 procesos HARQ puede trabajar en paralelo de datos [58].

Figura 44. Arquitectura Básica UMTS Rel. 5



Fuente [58]

Todas las interfaces de nodo de red están conectadas a la red IP:

- Home Subscriber Server (HSS), sustituye al HLR/AUC/EIR
- Sistema multimedia IP (IMS), opcional IPv6 aplicación o Session Initiation Protocol (SIP) para el CS de señalización y gestión de sesiones multimedia IP o SIP apoya formatos para atender las llamadas de voz y de paquetes y los requisitos de traducción de números para SIP <-> E.164
- Speed Downlink Packet Access (HSDPA) de integración o las tasas de datos de hasta 10 Mbps en sentido descendente, las tasas más bajas en enlace ascendente (por ejemplo, la navegación por Internet o Video en demanda) o New High Speed Downlink Shared Canal (HS-DSCH)
- Todo el tráfico de voz es voz sobre paquetes.
- MGW requerida en el punto de interconexión (POI)

- SGW (MSC Server) traduce la señalización a "legacy" (SS7)
- Las redes AMR-WB, una mayor adaptación Multirate AMR (banda ancha) codec para los servicios de voz [59]
- Nueva red elemento MRF (Función de Recursos de Medios de Comunicación) o parte del entorno propio virtual (VHE) para la portabilidad entre redes y entre terminales. Los usuarios experimentan las mismas características y servicios personalizados en cualquier terminal de red y lo que sea o Muy similar en función a una MGCF (función de control de pasarela de medios de comunicación) y MGW (Media Gateway) utilizando H.248/MEGACO establecer direcciones IP adecuado o SS7 portadores para soportar diferentes tipos de flujos de medios
- Nuevo elemento de red CSCF (Función de Control de Sesión de Llamada) o Proporciona mecanismos de control de sesión para los suscriptores acceden a los servicios en el IM (Multimedia IP), CN. o CSCF es un servidor SIP para interactuar con bases de datos de la red (por ejemplo, HSS para la movilidad y AAA (Access, autorización y contabilidad) para la seguridad)
- Nueva red elemento SGW (Signaling puerta de enlace) o En CS dominio señalización de usuario pasará por el SGW, que es la puerta de entrada para la información de señalización a / desde la PSTN
- Nuevo elemento de red CS-GW (Circuit Switched puerta de enlace) o El CS-GW es la puerta de entrada de la IMS en a / desde la PSTN (por ejemplo, para las llamadas VoIP)
- Servicios de localización para PS / GPRS
- Iu Flex o Breaking mapeo jerárquico de RNC a SGSN (MSC)
- AMR de banda ancha (16 kHz nuevo codec)
- End-to-end QoS en el dominio PS
- GTT: Telefonía de Texto Global (Servicio para usuarios con discapacidad)

- Reparto de carga o UTRAN (Radio Network para WCDMA) o GERAN (red de radio de GSM / EDGE) o WCDMA en 1800/1900 MHz Frecuencia.

7.1.8 UMTS Release 6 (HSUPA)

Con el fin de cumplir con la necesidad de mejorar la transferencia de datos en el canal ascendente (Uplink) se introdujo el Release 6 en el 3GPP también llamado HSUPA.

Una diferencia importante entre el DL y el UL es que para el DL hay un transmisor por celda (Nodo B), mientras que para el UL puede haber muchos transmisores, (cada UE con un canal en UL activo), con movimiento y envío de forma independiente. Por lo tanto, los canales físicos DL serán ortogonales, por lo menos en el momento de la transmisión, con códigos de canalización del mismo árbol de códigos, los cuales compartirán la potencia disponible en el Nodo B. En el UL no es posible conseguir ortogonalidad perfecta ya que los UEs, se mueven de forma independiente. Cada UE tiene su propio árbol de códigos de canalización y su potencia. Al igual que en R99 los Scrambling Codes (SC), con una baja correlación, se utilizan para separar entre los canales de los diferentes transmisores, es decir NodosB DL y UL UEs.

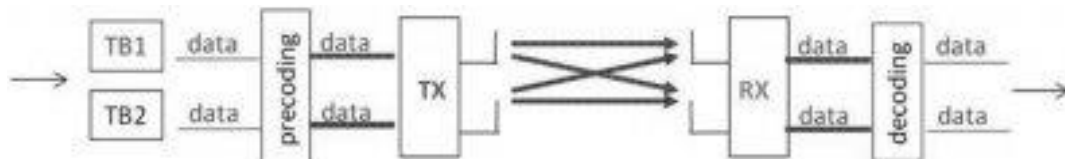
En HSDPA los datos son llevados a diferentes UE por medio de en un canal compartido, mientras que en UL se llevarán a los datos de diferentes usuarios en un canal dedicado; se introducen nuevos canales como el EDCH y el E-DPDCH para mejorar las tazas de datos. En el Release 6, la velocidad del canal máximo para mejorada UL es 5,8 Mbps, con una velocidad de datos máxima de 5,4 Mbps,

7.1.9 UMTS Release 7 (HSPA +)

Para aumentar aún más bitrates en la evolución de HSPA, conocida como HSPA +, se añaden nuevas funciones, por ejemplo: el aumento del orden de modulación a 64QAM (DL) y 16QAM (UL) y el sistema MIMO, (múltiple entrada múltiple salidas) únicamente en el (DL):

- La tasa máxima del canal en DL, es de 21 Mbps, utilizando 64QAM y 15 códigos; para el UL es de 11 Mbps usando 16QAM.
- MIMO, se utiliza para aumentar la tasa de bits global a través de la transmisión de dos (o más) flujos de datos diferentes en dos (o más) antenas diferentes, utilizando los mismos códigos de canalización, al mismo tiempo, separados a través del uso de diferentes datos de precodificación y diferentes canales pilotos transmitidos por antena de Tx, para ser recibidos por dos o más antenas de Rx como se observa en la Figura 46, en el Release 7 de la 3GPP para HSPA existente 2 antenas de Tx y 2 antenas de Rx (MIMO 2x2) [58].

Figura 46. MIMO en HSPA+.



Fuente [58]

7.2 CDMA2000

CDMA2000 es una familia de estándares inalámbricos que soportan servicios 3G definidas por la IMT-2000 de la UIT. Las redes CDMA2000 son compatibles con su predecesor cdmaOne (IS-95 CDMA), proporcionando una migración sencilla y rentable de servicios móviles de próxima generación que ofrecen una mejora en la calidad y la capacidad de voz al tiempo que ofrece alta velocidad y servicios de datos multimedia [60].

CDMA2000 también es llamado IS-2000, y es una tecnología de radiotransmisión que cubre los requerimientos especificados por la ITU, para ser considerado un sistema de tercera generación, dichas especificaciones han sido establecidas por la IMT-2000.

De manera inicial la 3GPP propuso como una organización global para el desarrollo de tecnologías de tercera generación, sin embargo rápidamente se dedicó principalmente a dar soluciones para sistemas 3G basados en GSM y su evolución, por lo tanto la ANSI, propuso la creación de la 3GPP2 para desarrollar un nuevo estándar como evolución natural de IS-95, buscando crear un sistema de banda ancha que utilizaría tecnología CDMA.

7.2.1 ARQUITECTURA DEL PROTOCOLO (IS-2000)

Una diferencia arquitectónica entre el estándar IS-2000 e IS-95 es que el IS-2000 llama explícitamente las funciones de cuatro capas de protocolos diferentes. Estas capas son:

- Capa física
- Control de acceso al medio
- Señalización de control de acceso al enlace

- Capa superior [61]

7.2.2 CAPA FÍSICA

La capa física es responsable de la transmisión y la recepción de los bits sobre el medio físico. Dado que el medio físico en este caso por el aire, la capa tendría que convertir los bits en formas de onda (es decir, la modulación) Para permitir su transmisión a través del aire. Además de la modulación, la capa física, además, portadores a cabo funciones de codificación para llevar a cabo funciones de control de errores en los niveles de bit y el marco.

7.2.3 MEDIA ACCESS CONTROL (MAC)

Control de acceso al medio (MAC) subcapa (capa 2) Los controles de acceso subcapa MAC capas superiores al medio de exámenes físicos que se comparte entre diferentes usuarios. En este sentido, MAC lleva a cabo funciones análogas como una entidad MAC que controla una red de área local (LAN). Mientras que un MAC LAN controla el acceso de los diferentes equipos de los que el jefe compartido, la subcapa MAC IS-2000 gestiona el acceso de los diferentes (voz de baja velocidad y alta velocidad) Los datos para la interfaz de aire común.

7.2.4 LAYER ACCESS CONTROL (LAC)

Señalización de control de acceso al enlace (LAC) subcapa (Layer 2): La subcapa LAC es responsable de la confiabilidad de señalización (o por encima) los mensajes que se intercambian. Recordemos que el medio over-the-air es muy propenso a errores y mensajes de información son a veces recibido (y Aceptado) con errores. Por otro lado, ya que los mensajes de señalización proporcionan

funciones de control importantes. Estos mensajes tienen que ser transmitido y recibido fiable. La subcapa LAC realiza y un conjunto de funciones que garantizan la entrega fiable de mensajes de señalización.

7.2.5 CAPA SUPERIOR (capa 3)

La capa superior lleva a cabo el control global del sistema IS-2000. Se ejerce este control sirve como el punto que procesa todos y origina nuevos mensajes de señalización. También se pasan mensajes La información (datos y voz) a través de la capa 3.

7.2.6 USO DE CANALES EN IS-2000

Además de las capas individuales propias, hay otros elementos importantes de la arquitectura de protocolo que se describen de la siguiente manera:

7.2.6.1 CANALES FÍSICOS

Los canales físicos son los caminos de comunicación entre la capa física y la subcapa múltiplex canal común o dedicado. Los canales físicos se designan por letras mayúsculas. La descripción, la primera tarjeta y el apoyo para el soporte guion o enlace directo downlink (F-) o enlace inverso uplink (R-), y las dos últimas letras "CH" siempre significan "canal". Por ejemplo, R-ACH es sinónimo de canal de acceso inverso, y F-FCH es sinónimo de canal fundamental. Una lista de los nombres de los canales físicos y sus designaciones se muestran en la Figura 1, tenga en cuenta que en el legado IS-95 los canales físicos son indicados con un asterisco.

7.2.6.2 CANALES LÓGICOS

Los canales lógicos son los caminos de comunicación entre las subcapas múltiplex canal común / dedicado y entidades de capa superior. Uno puede pensar en canales lógicos como el desempeño de las unidades lógicas de señalización o información de los usuarios. En contraste con los canales físicos que pueden ser considerados como los vehículos físicos reales que transportan la señalización o la información del usuario a través del aire.

Los canales lógicos se designan por letras minúsculas. La primera carta y el soporte de tablero, ya sea para enlace directo (f-) o enlace inverso (r-), y las dos últimas letras "ch" siempre significan "canal". Por ejemplo, R-csch es sinónimo de canal de señalización común de enlace ascendente, y f-dtch es sinónimo de canal de tráfico dedicado del enlace descendente.

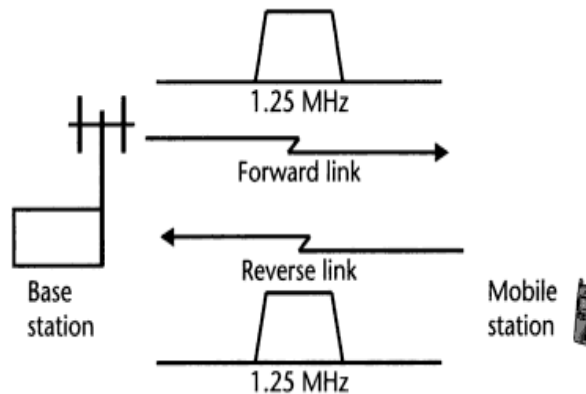
7.2.6.3 *Data Unit*

Las unidades de datos son unidades lógicas de señalización y la información de usuario que se intercambian entre PJS entidad/Protocolo de Enlace de Radio entidad y entidades de capa superior (SRBP). Hay dos tipos de unidades de datos: Payloads unidades de datos (PDU) y de la unidad de datos de servicio (SDU). PDU se utiliza para las unidades designadas de datos aceptados por un proveedor de servicios de un solicitante de servicio, y SDU las unidades de datos que se dan a un proveedor de servicios por un solicitante del servicio.

SPREADING RATE 1 AND SPREADING RATE 3

Con una pérdida de generalidad, este libro se centra en la difusión de la tarifa 1 (también conocido como "1x") de IS-2000. Tasa de dispersión 1, por definición, utiliza una vez la velocidad de chip de IS-95 (es decir, 1,2288 MCP). Como se observa en la Figura 47.

Figura 47. Tasa de Spreading 1. Tasa Chip de 1.2288 Mcps, ocupados a un ancho de banda en RF de 1.25Mhz.



Fuente [62]

Además, las normas de los IS-2000 también es compatible con tasa de dispersión 3 se utiliza cuando se desean mayores velocidades de datos. RENDIMIENTO 3 tiene dos opciones de implementación: Difusión directa (DS) o multiprotadora (MC).

En el enlace directo, tasa de dispersión 3 utiliza la opción MC mediante la utilización de tres portadoras de RF independientes, cada uno propaga una velocidad de chip de 1,2288 Mcps. En este caso, los datos de usuario se

multiplexa en tres portadoras de RF independientes son recibidas por el móvil. En el enlace inverso, tasa de dispersión 3 utiliza la opción DS.

La opción de DS permite que el móvil para difundir directamente sus datos a través de un ancho de banda más amplio mediante una velocidad de chip de 3,6864 Mcps,. Para armonizar con otros sistemas 3G como UMTS, una señal de tasa de dispersión (spreading factor) 3 puede tener 625 KHz de la banda de seguridad en cada lado lo que resulta en un ancho de banda de RF total de 5 Mhz[62] .

8 TECNOLOGÍAS 4G

En futuros entornos inalámbricos y móviles las estaciones móviles serán capaces de elegir entre múltiples redes de acceso que ofrecen servicios de la competencia. La Red inalámbrica 4G debe ofrecer un amplio uso de técnicas de procesamiento de la información, la manipulación eficiente de los recursos de la red, y la reutilización de las funciones de red. También debe permitir la inserción de las capacidades complementarias que hacen que sea fácil agregar servicios.

La evolución de las tecnologías de redes inalámbricas ha dado lugar a diferentes generaciones de sistemas celulares inalámbricos, se hace referencia como n G (1G, 2G, 2.5G, 3G,...). Los sistemas inalámbricos actuales sólo proporcionan servicios limitados. Por ejemplo, en 2G, 2.5G los usuarios solicitan servicios de comunicación con la calidad de una línea cableada (tanto de voz, datos, multimedia) cuando son móviles. Se requiere una tasa muy alta de datos y es mucho más fácil hallar esta capacidad en los sistemas inalámbricos de tercera generación (3G).

Esta es la motivación detrás del creciente empuje de la investigación en la definición y diseño de redes inalámbricas de cuarta generación (4G). La visión de los sistemas 4G y superiores es la unificación de las diversas redes móviles e inalámbricas. Sin embargo, hay una diferencia fundamental entre una red celular inalámbrica y las redes de datos inalámbricas, tales como redes WLAN. La diferencia es que los sistemas celulares son comúnmente conmutación de circuitos, lo que significa que durante una llamada, el establecimiento de la conexión tiene que tener lugar antes de la llamada. En las otras redes inalámbricas de datos son de conmutación de paquetes por naturaleza.

Las redes inalámbricas de cuarta generación consistirán en una red heterogénea con diferentes redes de acceso, que pueden solaparse unas con otras. En este entorno, una estación móvil está equipada con un dispositivo móvil que contiene múltiples interfaces inalámbricas o una interfaz multi-modo. Se mejorará y ampliará la movilidad: en cualquier momento y en cualquier lugar, la accesibilidad, movilidad IP, la privacidad y seguridad de las comunicaciones, la diversidad de los servicios manteniendo un bajo costo.

Se espera que las redes inalámbricas 4G incluyan el acceso inalámbrico, móvil inalámbrico, redes LAN PAN inalámbricas y redes de satélites y que proporcione una amplia gama de servicios, incluyendo los datos de alta velocidad y multimedia en tiempo real a los usuarios de móviles. Se espera que el usuario móvil sea capaz de comunicarse a través de diferentes arquitecturas de redes inalámbricas y de vagar dentro de estas arquitecturas.

8.1 Requisitos de la cuarta generación

Los principales objetivos de las redes inalámbricas 4G se puede afirmar que son la ubicuidad, y la plataforma de servicios múltiples, con tráfico y acceso seguro. La calidad de los servicios 4G inalámbricos será el efecto colectivo del funcionamiento de todos los elementos del sistema en combinación con las expectativas de los usuarios, lo que determina el grado de satisfacción de los usuarios de 4G. Los principales requisitos son los siguientes:

Acceso transparente: Acceso transparente en la red 4G inalámbrica significará conectividad para el usuario final a través de una amplia gama de tecnologías de acceso heterogéneas y redes de acceso que utilizan diferentes tecnologías, con una participación mínima del usuario.

Bajo retardo de handover y pérdida de velocidad: Handoff o handover presenta pérdida de paquetes y el retraso que puede dañar seriamente las comunicaciones de datos. Por lo tanto, los mecanismos Handoff deben gestionarse para minimizar estos aspectos y mantener un buen rendimiento de la red (sin interrumpir el tráfico de usuarios, mínima adición de señalización, y la baja tasa de pérdida de paquetes).

Red multi-servicio: Una red multi-servicio es una propiedad esencial de la nueva generación inalámbrica, no sólo porque es la razón principal para la transición del usuario, sino también porque va a dar a los operadores de telecomunicaciones el acceso a nuevos niveles de tráfico. La voz perderá su peso en la cuenta de usuario en general con el aumento de más y más servicios de datos. La red inalámbrica 4G ofrecerá movilidad ilimitada y soportará servicios de gran ancho de banda de datos con variables de transferencia de datos simétrica y asimétrica (por ejemplo, voz, video, fax, servicios de Internet). Esta amplia gama de servicios se proporcionará a los usuarios móviles mediante el apoyo equilibrado de carga, las prioridades y la calidad garantizada de las clases de servicio.

Redes de acceso inalámbrico de banda ancha: La red 4G necesita integrar mediante la entrega de las comunicaciones multimedia a las zonas metropolitanas que utilizan sistemas de plataformas a gran altitud (HAP- High-Altitude Platform) y / o sistemas de satélite. En muchos sentidos, HAPs son equivalentes a los

sistemas de satélites, excepto que son mucho más baratos y pueden ser fácilmente redistribuidos y / o mantenidos.

Seguridad de acceso y tráfico: Para alcanzar el éxito de la red de 4G inalámbrica, estos sistemas deben abordar las cuestiones de seguridad de una manera correcta e integrar esquemas de cifrado fuertes en el sistema.

8.2 Modelo de la cuarta generación inalámbrica

Los objetivos básicos de las redes inalámbricas 4G son hacer la red heterogénea transparente para los usuarios y diseñar una arquitectura que sea independiente de la tecnología de acceso inalámbrico. Hay varias arquitecturas que utilizan múltiples y diferentes redes de acceso de radio (RAN). Los principales modelos son: *redes de túneles*, *las redes híbridas* y *redes heterogéneas*. La distinción entre estos modelos se encuentra en la capa en la se comuniquen en la RAN.

8.2.1 Redes de túneles

En este modelo, el usuario tiene un contrato de servicio con los operadores de varias RAN independientes. Basados en una cierta política, se selecciona la red óptima para el servicio solicitado. La conectividad entre las redes se basa en capas relativamente altas de la red de Internet (es decir, las capas de transporte o de sesión). Esto no requerirá modificación a las redes de acceso existentes.

8.2.2 Redes híbridas

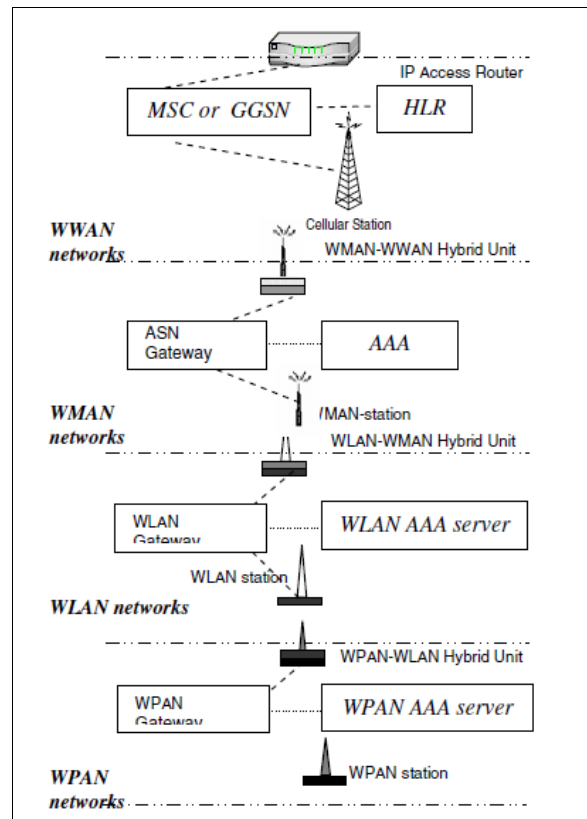
En este modelo, se tiene un Core híbrido que interactúa directamente entre la RAN y la red troncal IP. En este modelo, la RAN implementa la capa de red y las capas inferiores.

8.2.3 Redes heterogéneas

En este modelo, hay una red de Core común que se ocupa de toda la funcionalidad de la red y funciona como una única red. Las diferentes RAN manejan sólo aquellas tareas que están específicamente relacionadas con una determinada tecnología de acceso de radio. En general, el acceso de radio inalámbrico incorpora las capas física y de enlace de datos. La comunicación entre RAN pertenecientes a la misma red de Core común se basa en las capas inferiores de la red (capa de enlace o capa de red). Esto reduce la sobrecarga, y mejora el rendimiento de la red.

La arquitectura de red propuesta para la red inalámbrica 4G se ilustra en Figura 48

Figura 48. Arquitectura de la red inalámbrica de cuarta generación



Fuente [63]

La arquitectura básica de la red inalámbrica de cuarta generación se divide en cuatro niveles. Los niveles más bajos se componen de células inalámbricas de banda ancha que cubren una parte relativamente pequeña de área de conexión sobre un área geográfica más grande. Además, las redes de niveles más bajos se pueden esperar que desempeñen un papel complementario a las redes de los niveles más altos.

- El nivel más bajo se compone de una colección de redes inalámbricas de área personal (WPAN), que proporcionan el poder de conectividad de corto alcance menor. Bluetooth proporciona la base de este nivel de la red.

- El segundo nivel es una red de área local inalámbrica (WLAN). Se ofrece a los usuarios móviles de banda ancha conexión inalámbrica a Internet. Las unidades de híbridos WPAN-WLAN proporcionan la WPAN y WLAN protocolo de interoperabilidad.
- El tercer nivel está compuesto por una colección de redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN). El 802.16d y 802.16e proporcionan la base de este nivel. La unidad híbrida WMAN-WWAN desempeña el papel de la operación para proporcionar interoperabilidad protocolo.
- El nivel final es una red inalámbrica de área amplia (red celular), que proporciona un ancho de banda mucho más bajo y cubre un área mucho más amplia que WMAN o WLAN. Se ofrece conexión con la red externa (backbone IP, etc.) La red de área amplia inalámbrica (WWAN) utiliza las redes celulares para la transmisión de datos y algunos ejemplos de estos sistemas celulares son GSM, GPRS, EDGE, CDMA 2000, WCDMA y UMTS.

Para hacer esta arquitectura completa, de cuatro capas puede incluir el uso de plataformas de gran altitud y sistemas de acceso basados en satélites.

8.2.4 Unidad de tecnología híbrida (HU)

La unidad híbrida es un nodo que actúa como un puente entre dos redes de acceso diferentes. Permite la integración de varias redes heterogéneas. El HU puede soportar múltiples estaciones base que proporcionan conectividad de capa de enlace inalámbrico. Los diferentes tipos de unidades híbridas son:

- *Unidad híbrida WWAN-WMAN.* Esta unidad es un nodo que actúa como un puente entre las redes WMAN y WWAN. Puede operar como una estación base para WWAN y la estación de abonado para WMAN.
- *Unidad híbrida WMAN-WLAN.* Tiene la capacidad de funcionar como un punto de acceso a la red para una WLAN con la red de infraestructura o de cabeza de racimo para la red ad hoc y estación de abonado para WMAN.

- *Unidad híbrida WLAN-WPAN.* Esta unidad se puede utilizar para interconectar las redes WLAN y WPAN. Tiene la capacidad para funcionar como un maestro de red Bluetooth y el punto de acceso para la red WLAN con la infraestructura y la cabeza de racimo de red ad hoc.

El Centro de Conmutación Móvil (MSC), el Nodo de Soporte GPRS (SGSN), y el Home Location Register (HLR) son los principales componentes de las redes celulares. La puerta de la Red de Servicio de Acceso (ASN) representa un límite para la interoperabilidad funcional con clientes WMAN y funciones de conectividad del servicio WMAN. El servidor de autenticación, autorización y contabilidad (AAA) es un servidor de red que se utiliza para el control de acceso. Autenticación identifica al usuario. La autorización implementa políticas que determinan los recursos y servicios que se pueden acceder por un usuario válido. La contabilidad básicamente realiza un seguimiento de los recursos de tiempo y los datos utilizados para la facturación y el análisis.[63].

8.3 LTE

El término "Long Term Evolution" (LTE) representa el proceso para generar una interfaz de aire nueva del Proyecto 3rd Generation Partnership (3GPP). Anteriormente, 3G Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) proporcionó una nueva interfaz de aire de alta capacidad, incluido el transporte de tráfico de paquetes, y la Red de Acceso Radio (RAN) diseñado para ser compatible con la segunda generación de redes de Core GPRS y GSM. WCDMA permite la multiplexación de voz y servicios de datos de tasa variable, y su High Speed Packet Access (HSPA) aumenta aún más las capacidades de paquetes de alta velocidad como un conjunto de nuevos canales de transporte.

Las características sobresalientes de LTE son los siguientes: una arquitectura plana basada en servidores distribuidos, estaciones base LTE que tienen conexiones de transporte a la red de núcleo sin intermedio de los nodos de red RAN (tales como controladores de red de radio). Protocolos de radio simplificado y eficiente, donde la información de estado de canal está disponible en los pares de protocolo de radio para optimizar el acceso y para reducir al mínimo la sobrecarga.

Una capa de diseño que favorece la transformación física de dominio de frecuencia para la eficiencia, lo que permite transmisiones de datos a alta velocidad por ejemplo, por métodos de transmisión multiantena, y la mitigación de condiciones de interferencia por ortogonalidad intracelular. La gestión de recursos de radio que permite una escalabilidad de ancho de banda de transmisión (BW), y un alto grado de diversidad multiusuario por ejemplo, mediante la programación de dominio de tiempo-frecuencia. El funcionamiento eficiente de los modos de ahorro de energía como una propiedad fundamental diseñada del equipo de usuario (UE) [64].

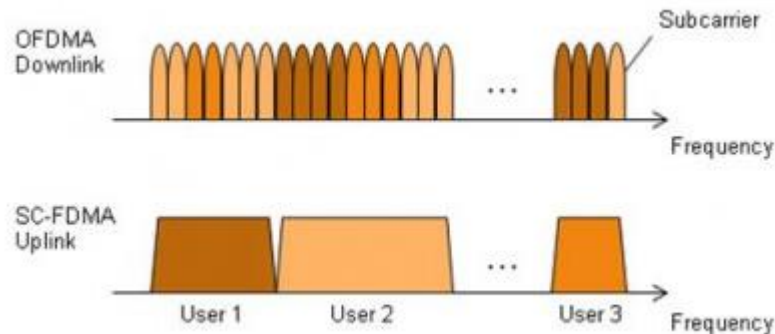
8.3.1 OFDMA

La nueva solución de acceso, LTE, se basa en OFDMA (Ortogonal por División de Frecuencia Multiple Access) para ser capaz de alcanzar velocidades y volúmenes de datos aún más altos. Modulación de orden superior (hasta 64QAM), gran ancho de banda (hasta 20 MHz) y la transmisión MIMO en el enlace descendente (hasta 4x4) son también una parte de la solución. La velocidad de datos más alta teórico es 170 Mbps en el enlace ascendente y MIMO con la tasa puede ser tan alta como 300 Mbps en el enlace descendente.

Para lograr una alta eficiencia espectral de radio un enfoque multicarrier de acceso múltiple fue elegido por el 3GPP. Para el enlace descendente, OFDMA fue

seleccionado (Ortogonal por División de Frecuencia Multiple Access) y para el enlace ascendente SC-FDMA (Single Carrier - Frecuencia Division Multiple Access) también conocido como DFT (Transformada Discreta de Fourier) propagación OFDMA como se observa en la Figura 49.

Figura 49. FDMA y SC-FDMA

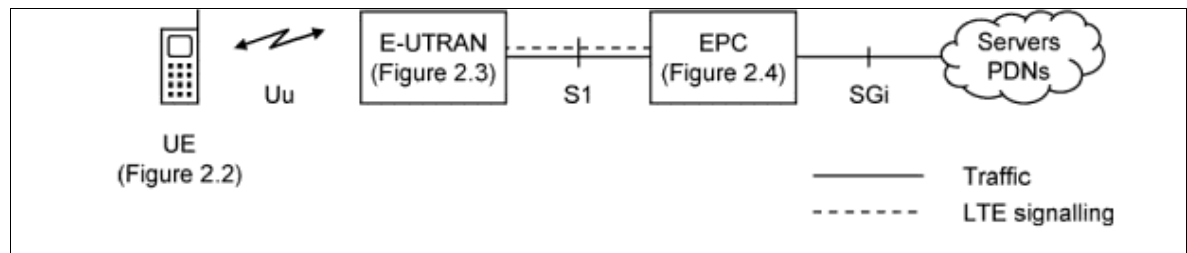


OFDM es una tecnología multiportadora para subdividir el ancho de banda disponible en una multitud de subportadoras ortogonales mutuos de banda estrecha. En OFDMA estas subportadoras se pueden compartir entre varios usuarios. Esta solución es el logro de muy alta eficiencia espectral, pero requiere procesadores rápidos. Esto hace que sea posible la explotación de variaciones tanto en dominios de frecuencia y tiempo. La solución OFDMA lleva a relación de potencia pico alto-a-media que requieren amplificadores de potencia costosos con altas exigencias de linealidad, aumentando el consumo de la batería. Esto no es un problema en el eNB, pero daría lugar a los teléfonos muy caros. Por lo tanto se ha seleccionado una solución diferente con menor requerimiento en el auricular para el UL.

8.3.2 Arquitectura LTE

En la Figura 50 se observa la arquitectura del sistema EPS. Hay tres componentes principales, llamados User Equipment (UE), evolved UMTS terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) y el evolved packet Core (EPC). A su vez el EPC se comunica con las redes de paquetes de datos en el mundo exterior como el Internet, redes corporativas privadas o subsistemas multimedia IP. Las interfaces entre las diferentes partes del sistema son denotadas Uu, S1 y SGi.

Figura 50. Arquitectura de LTE

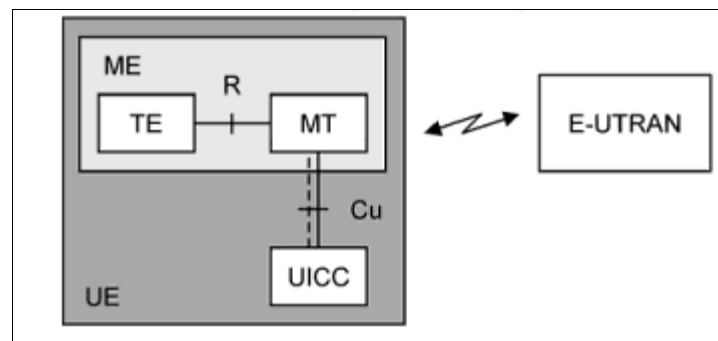


Fuente [65]

El UE, E-UTRAN y EPC cada uno tiene sus propias arquitecturas internas:

UE: En la Figura 51 se muestra la arquitectura interna del UE, la cual es idéntica a la usada en UMTS y GSM.

Figura 51. Arquitectura del UE



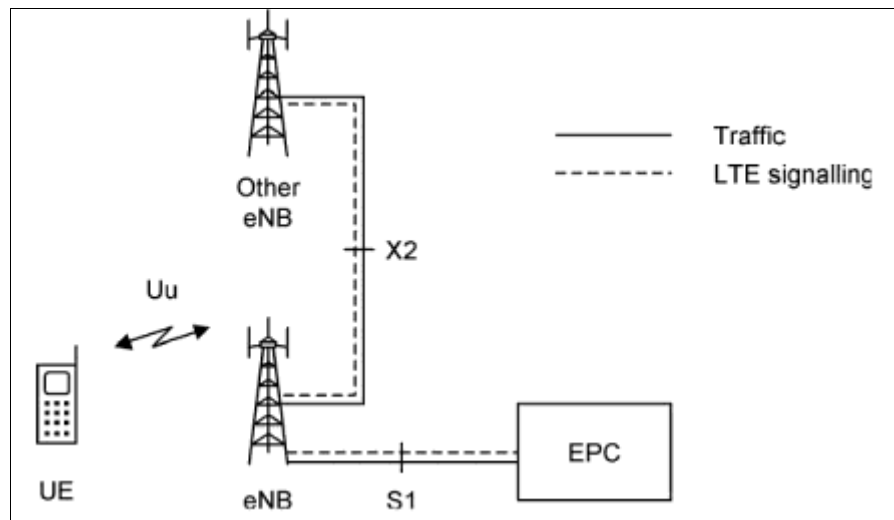
Fuente [65]

El actual dispositivo de comunicación es conocido como Mobile Equipment (ME). En el caso de voz o smartphone. Sin embargo él ME puede también puede dividirse en dos componente, llamados Mobile termination (MT), el cual lleva a

cabo todas las funciones de comunicación y el Terminal Equipment (TE), el cual termina el flujo de datos. La Universal Integrated Circuit Card (UICC) es una tarjeta pequeña conocida coloquialmente como SIM card, tiene una aplicación conocida como Universal subscriber identity module (USIM), la cual almacena datos específicos del usuario. Adicionalmente, LTE soporta que los móviles utilicen IPV4, IPV6 o las dos[65] .

Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network: La red de acceso de radio terrestre UMTS evolucionada es ilustrada en la Figura 52. La E-UTRAN soporta las comunicaciones de radio entre el móvil y el EPC y tiene un componente que es el Nodo B Evolucionado (eNB).

Figura 52. Arquitectura del Evolved UMTS Terrestrial RAN



Fuente [65]

Cada eNB es una estación base que controla los móviles en una o más celdas. Un móvil se comunica con una estación base y una celda a la vez, entonces no hay soft handover como en UMTS. La estación móvil que se comunica con el móvil es conocida como servidora eNB.

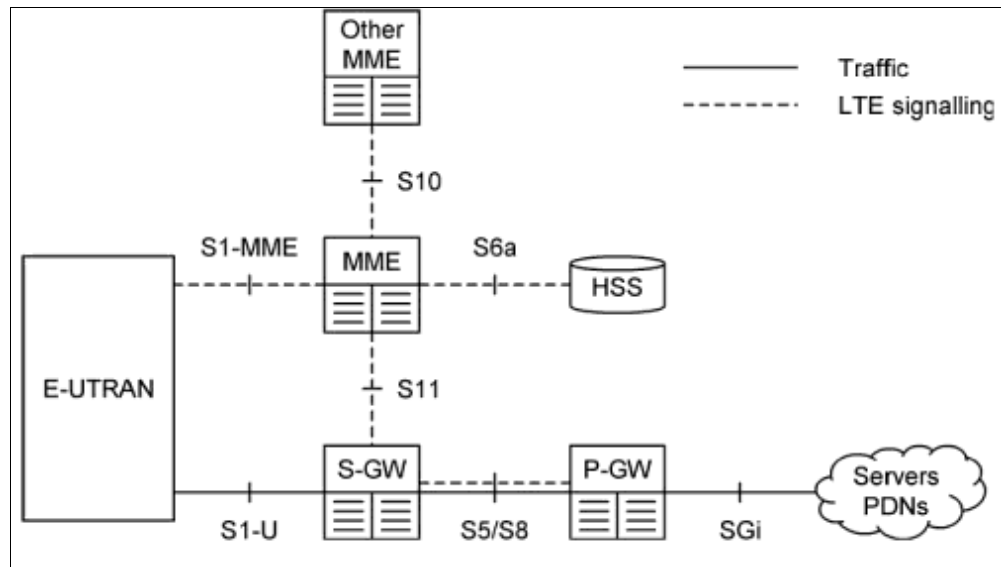
El eNB tiene dos funciones principales. La primera es que el eNB envía transmisiones de radio a todos los móviles en downlink y recibe transmisiones de

ellos en uplink, utilizando funciones de procesamiento análogas y digitales de la interfaz de aire de LTE. La segunda es que el eNB controla la operación de bajo nivel de los móviles enviándoles mensajes de señalización como un comando de handover que relaciona esas radio transmisiones. En resumen el eNB tiene funciones del anterior Nodo B y de la RNC para reducir la latencia cuando el móvil intercambia información con la red.

Cada estación base está conectada con la EPC por medio de la interfaz S1. Esta puede además ser conectada a estaciones base cercanas por la interfaz X2 la cual es principalmente utilizada para señalización y envío de paquetes durante el handover[65].

Evolved Packet Core (EPC): la Figura 53 muestra los principales componentes de la EPC: el HSS (Home subscriber server), el cual es una base de datos central que contiene información de los suscriptores de la red, este es uno de los componentes de LTE que vienen de UMTS y GSM. El PDN (Packet data Network) y Gateway (P-GW) es el punto de contacto de EPC con el mundo exterior. A través de la interfaz SGi, cada PDN intercambia datos con uno o más dispositivos o redes de paquetes de datos, como los servidores de operación de red internet o subsistemas de IP multimedia. Cada red de paquetes de datos es identificada como APNs, por ejemplo una para sus propios servidores y una para internet [65].

Figura 53. Principales componentes de EPC.



Fuente[65]

8.3.2.1 Estados de Operación del UE

En LTE, el UE puede funcionar en dos estados, el LTE_Idle o el estado LTE_Active, en relación con el Non Access Stratum que conecta el UE y la red de Core. En la red de acceso de radio, estos corresponden a la de Control de Recursos de Radio (RRC) los estados RRC_Idle y RRC_Connected, respectivamente [66]. La máquina de estado de la movilidad se simplifica considerablemente de 3G/WCDMA UTRAN (con al menos cuatro estados). Modos de recepción de transmisión discontinua y se aplican a ambos estados, lo que permite el ahorro de energía eficiente UE.

En el estado LTE_Idle, la ubicación del UE no se conoce en la precisión de las celdas. La movilidad del UE es controlada por la red Core. El UE puede iniciar la actividad por un procedimiento de acceso aleatorio y la red puede solicitar la actividad UE mediante un procedimiento de paging. Los parámetros de acceso aleatorio y ciclos de paging se indican en un canal de difusión, la cual está

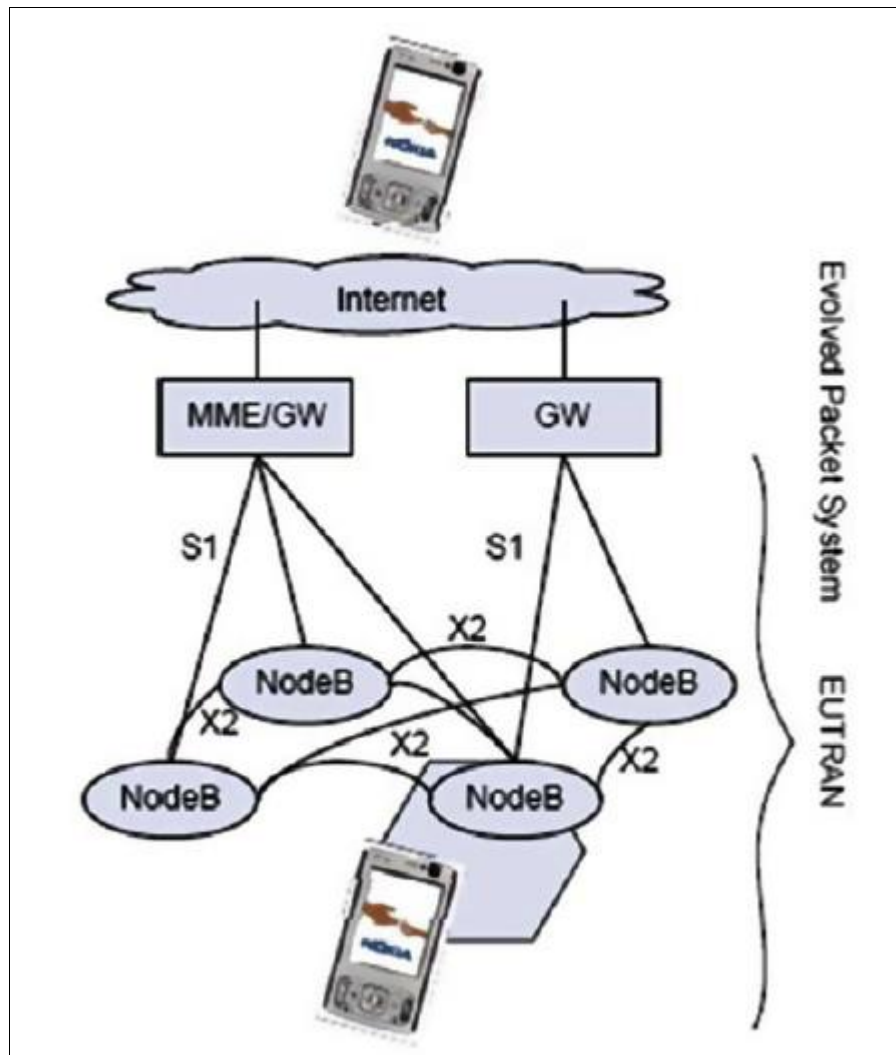
programada para permitir el ahorro de energía y aparece la frecuencia multiplexado con un canal de datos compartido.

Al convertirse en activo, el UE consigue un Radio Network Temporary Identity (C-RNTI) para las asignaciones de recursos y la programación de la estación base de servicio. Después de tener el C-RNTI sentado, el UE cambia al estado RRC_Connected, y puede adjuntar y registrar a la red Core, que cambia el UE al estado LTE_Active. En el estado LTE_Active, los procedimientos de movilidad y entrega se ejecutan para un funcionamiento sin problemas. Sin embargo, los períodos de discontinuidad parametrizado pueden ser definidos en la interfaz de aire, lo que significa que el UE tiene el mandato de decodificar los canales de señalización de enlace descendente solamente a intervalos dados bastidor auxiliar en lugar de cada subtrama. Esto permite poder significativo ahorro de oportunidad para el UE también mientras que en el estado activo.

8.3.2.2 Sistema de paquetes evolucionado (EPS)

La evolución de la arquitectura del sistema del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) se llama el sistema de paquetes evolucionado (EPS)[67]. Se opera completamente en el dominio de los paquetes y permite que la estación base LTE (evolucionada NodoB, eNodoB) pase los paquetes por ambos planos de control y usuario a través de los túneles de IP a la red de Core. La Mobility Management Entity (MME) opera en el plano de control y se encarga de la movilidad en modo inactivo, el pagging, la autenticación y los procedimientos de configuración al portador. MME contacta al Home Subscriber Server (HSS) para la información de abonado, y es capaz de almacenar el contexto de movilidad del UE con identificadores celulares (Temporal Mobile Subscriber Identity, S-TMSI) y las direcciones IP. La arquitectura de LTE y las interfaces de la EPS se muestran en la Figura 54.

Figura 54. Arquitectura e interfaces de la EUTRAN



Fuente [67]

En el plano de usuario, el eNodeB enruta y transfiere los paquetes al portador de EPS y la conectividad a las puertas de enlace del Packet Data Network (PDN). Estas puertas de enlace tienen la conectividad y la capacidad de enrutamiento de Internet, y contienen el contexto Packet Data Protocol (PDP) para que las peticiones de UE se abran y se configuren para la conectividad y la calidad de servicio (QoS). Las funciones de calidad de servicio se aplican en los puertos del PDP, en los que pueden proporcionar diferenciación de suscriptor o diferenciación de tráfico por los parámetros de QoS del portador de EPS.

8.3.2.3 Las interfaces LTE

LTE proporciona una arquitectura simplificada en comparación con la UTRAN, porque las ganancias de la diversidad de macro no son relevantes en EUTRAN, y por lo tanto un controlador de radio centralizado no se necesita. Por lo tanto todas las decisiones relacionadas con la comunicación sobre la interfaz aérea se toman en una transmisión o recepción del nodo de red, hacer de la adaptación final tanto a posibles condiciones de tráfico y el canal. La comunicación del plano de control se ejecuta como el protocolo de aplicación sobre la interfaz-S1 entre el eNodoB la MME. La comunicación del plano de usuario se ejecuta como el protocolo de transporte sobre la interfaz-S1 entre el eNodoB y la puerta servidora.

8.3.2.4 Direccionamiento

El direccionamiento en EPS se lleva a cabo ya sea por IP versión 4 (IPv4) o IP versión 6 (IPv6) o en ambos. Esto se conoce como el enfoque de doble pila, y existe soporte de la red suficiente para operar con ambos formatos. El principio clave es una conectividad IP para la UE, que está habilitado por el portador EPS predeterminado.

8.3.2.5 La calidad del servicio

En la arquitectura EUTRAN, QoS es proporcionada por los mecanismos de Servicios Diferenciados (DiffServ), procedimientos contexto PDP, el transporte de túnel y parámetros portador EPS.[64]

8.4 Norma mundial de la UIT para comunicaciones celulares: IMT-Avanzadas

Tras efectuar una evaluación detallada en función de estrictos criterios técnicos y operativos, la UIT determinó que "LTE-Avanzada" y "WirelessMAN-Avanzada" han de incluirse oficialmente dentro de las IMT-Avanzadas. En tanto que tecnologías más punteras actualmente definidas para las comunicaciones móviles inalámbricas en banda ancha mundiales, las IMT-Avanzadas se consideran la "4G", aunque este término, aún por definir, también puede aplicarse a los antecesores de estas tecnologías: LTE y WiMax, y otras tecnologías 3G evolucionadas, cuyo rendimiento y capacidades son sustancialmente superiores a los sistemas de tercera generación iniciales hoy implantados [68].

Las Telecomunicaciones Móviles Internacionales-Avanzadas (IMT-Avanzadas) son sistemas móviles dotados de nuevas capacidades que superan las ofrecidas en las IMT-2000. Esos sistemas dan acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicación, en especial los servicios móviles avanzados, admitidos por redes fijas y móviles, que utilizan cada vez más la transmisión por paquetes.

Los sistemas de IMT-Avanzadas admiten aplicaciones de baja y alta movilidad y una amplia gama de velocidades de datos, de conformidad con las demandas de los usuarios y de servicios en numerosos entornos de usuario. Las IMT-Avanzadas también tienen capacidades destinadas a aplicaciones multimedios de elevada calidad en una amplia gama de servicios y plataformas, lo que les permite lograr mejoras considerables de funcionamiento y calidad de servicio.

Las principales prestaciones de las IMT avanzadas son:

- Un alto grado de uniformidad de funciones en todo el mundo manteniendo al mismo tiempo la flexibilidad de admitir una amplia gama de servicios y aplicaciones rentables;

- Compatibilidad de servicios con las IMT y las redes fijas;
- Capacidad de inter funcionamiento con otros sistemas de acceso radioeléctrico;
- Servicios móviles de elevada calidad;
- Equipo de usuario de utilización en todo el mundo;
- Aplicaciones, servicios y equipos de fácil utilización;
- Capacidad de itinerancia mundial; y
- Velocidades máximas de transmisión de datos mejoradas para admitir aplicaciones y servicios avanzados (como objetivo a los efectos de la investigación, se han establecido velocidades de 100 Mbit/s para una movilidad alta y de 1 Gbit/s para una movilidad baja).

Gracias a estas características, las IMT-Avanzadas pueden responder a la continua evolución de las necesidades de los usuarios, y continuamente se introducen mejoras en las capacidades de los sistemas de IMT-Avanzadas en armonía con las tendencias de los usuarios y la evolución de la tecnología [69].

8.5 LTE Advanced

Con el objetivo de crear una entidad de colaboración entre las diferentes asociaciones de telecomunicaciones, se estableció el Proyecto 3rd Generation Partnership (3GPP) en 1998. Se comenzó a trabajar en la radio, la red Core, y la arquitectura de servicios de una especificación de la tecnología 3G de aplicación mundial. A pesar de que las velocidades de datos de 3G ya eran reales, en teoría, los sistemas iniciales como el Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) no cumplieron inmediatamente los requisitos de las IMT-2000 en sus implementaciones prácticas. Por lo tanto, los estándares necesitan ser mejorados para cumplir o incluso para superarlos. La combinación de Speed Downlink Packet Access (HSDPA) y la adición subsiguiente de un canal dedicado mejorado,

también conocido como acceso ascendente de paquetes de alta velocidad (HSUPA), condujo al desarrollo de la tecnología denominada de acceso de paquetes de alta velocidad (HSPA) o, más informalmente, 3.5G.

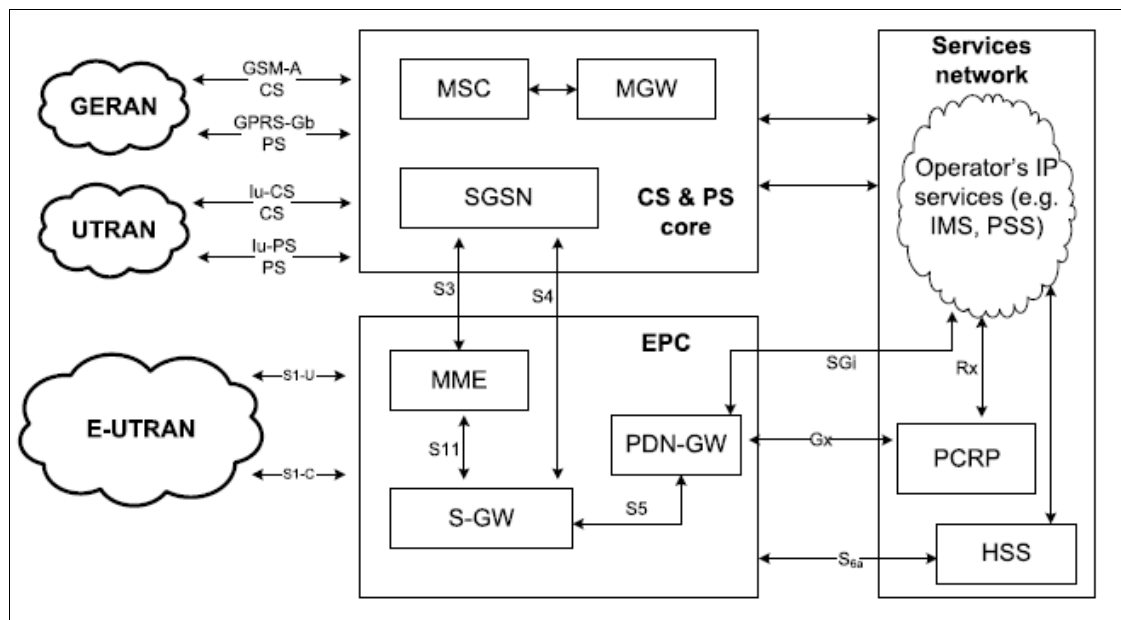
Motivado por la creciente demanda de servicios móviles de banda ancha con velocidades de datos más altas y Calidad de Servicio (QoS), 3GPP comenzó a trabajar en dos proyectos paralelos, Long Term Evolution (LTE) y System Architecture Evolution (SAE), que tienen por objeto definir tanto la red de acceso de radio (RAN) y la red Core del sistema, y se incluyen en 3GPP Release 8. LTE / SAE, también conocido como el sistema de paquetes evolucionado (EPS), representa un avance radical para la industria inalámbrica que tiene como objetivo proporcionar una alta eficiencia y baja latencia, con optimización de paquetes, y un servicio más seguro. Los principales parámetros de acceso de radio de diseño de este nuevo sistema incluyen OFDM (multiplexación por división ortogonal de frecuencia) con el fin de evitar la interferencia entre símbolos que normalmente limita el rendimiento de los sistemas de alta velocidad, y las técnicas MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) para aumentar las velocidades de datos. En la capa de red, una arquitectura plana totalmente IP soportando una QoS (calidad de servicio) definida.

8.5.1 Arquitectura de la red

3GPP especifica en la versión 8 de los elementos y requisitos de la arquitectura de EPS que servirán de base para las redes de próxima generación. Las especificaciones incluyen dos principales elementos de trabajo, es decir, LTE y SAE, que llevaron a la especificación de la Evolved Packet Core (EPC), Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), y la Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), cada uno de los cuales corresponde a la red Core, la red de acceso de radio, y la interfaz de aire de todo el sistema,

respectivamente. La EPS proporciona conectividad IP entre un equipo de usuario (UE) y una red de paquetes de datos externa usando la E-UTRAN. En la Figura 55 se proporciona una visión general de las EPS, otro legado de elementos de paquetes y conmutación de circuitos y RAN 3GPP, junto con las interfaces más importantes. En la red de servicios, sólo la Policy and Charging Rules Function (PCRF) y el Home Subscriber Server (HSS) se incluyen, por simplicidad.

Figura 55. EPS para accesos 3GPP



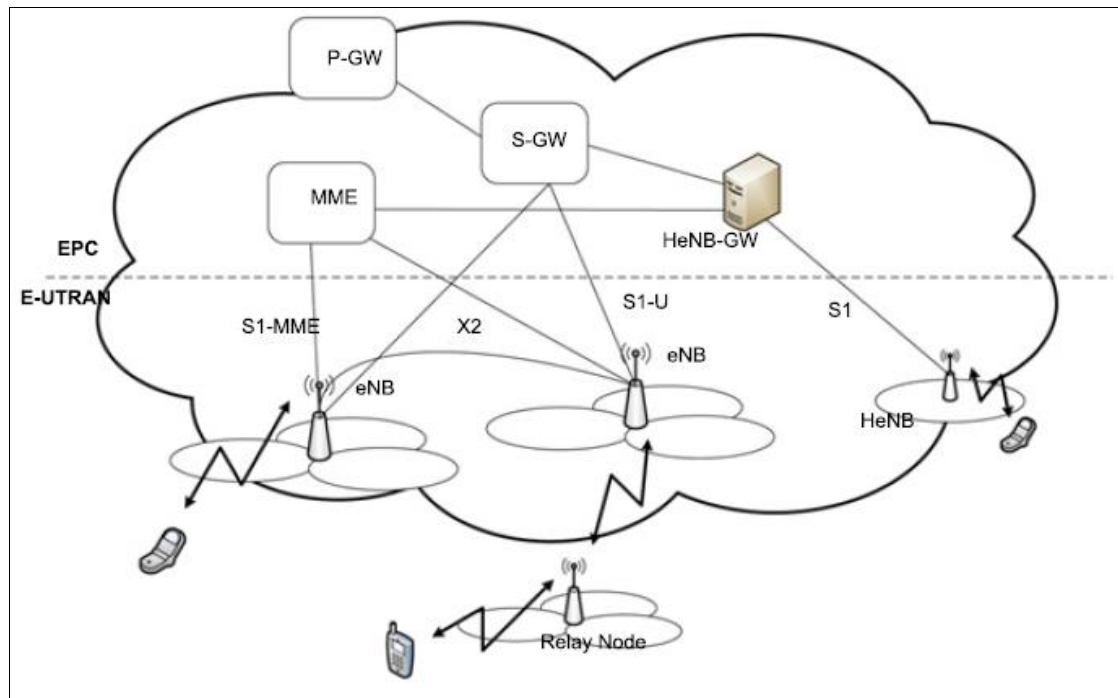
Fuente [70]

8.5.2 E-UTRAN para LTE-Advanced

En la Figura 56, se muestra la arquitectura de E-UTRAN para LTE-Advanced. La base en la arquitectura E-UTRAN es el Nodo B evolucionado (eNodoB o eNB), que proporciona la interfaz de aire con las terminaciones del protocolo de plano de usuario y de control hacia el UE. Cada uno de los eNBs es un componente lógico

que sirve una o varias células de E-UTRAN, y la interfaz que interconecta el eNB se llama la interfaz X2. Adicionalmente, El Home eNBs (HeNBs, también llamados femtoceldas), que son eNBs de menor costo para la mejora la cobertura en interiores, se pueden conectar a la EPC directamente a través de una puerta de enlace que proporciona apoyo adicional para un gran número de HeNBs. Además, 3GPP está considerando nodos de retransmisión y estrategias de retransmisión sofisticados para la mejora del rendimiento de la red. Los objetivos de esta nueva tecnología están incrementando la cobertura, mayores velocidades de datos y un mejor rendimiento de QoS y la equidad para los diferentes usuarios.

Figura 56. Arquitectura de LTE-Advanced y E-UTRAN

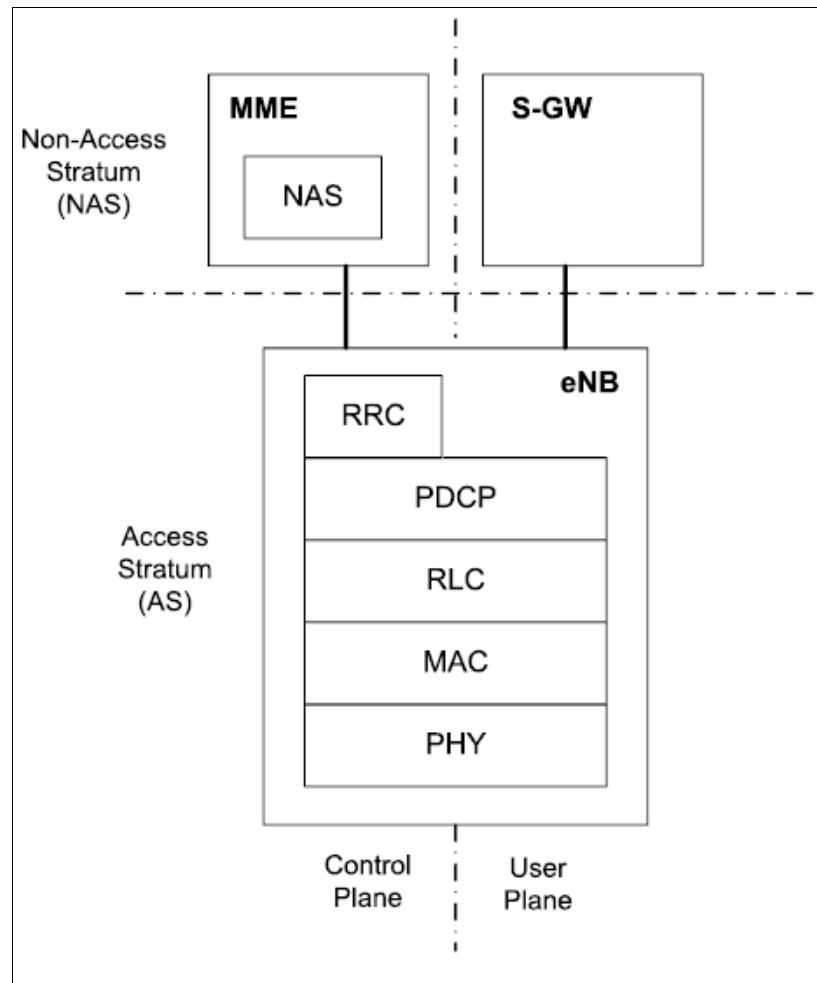


Fuente [70]

Como se mencionó anteriormente, los eNBs proporcionan la E-UTRAN con el protocolo necesario de plano de usuario y plano de control. En la Figura 57 se da un resumen gráfico de las dos pilas de protocolos. En el plano de usuario, los protocolos que se incluyen son el Protocolo de Convergencia de Datos por Paquetes (PDCP), el Control de Enlace de Radio (RLC), control de acceso al

medio (MAC), y los protocolos de la capa física (PHY). El plano de control incluye, además, los protocolos de control de recursos de radio (RRC).

Figura 57. Pilas de Protocolos



Fuente [70]

Las principales funcionalidades llevadas a cabo en cada capa se resumen a continuación:

8.5.2.1 NAS (Non-Access Stratum):

- Gestión de la Conexión entre el UE y la red Core.
- Autenticación.
- Registro.

- Portador contexto de activación / desactivación.
- Gestión de registro Ubicación.

8.5.2.2 RRC (Control de Recursos de Radio)

- Difundir la información del sistema en relación con Non Access Stratum (NAS) y Access Stratum (AS).
- Establecimiento, mantenimiento y liberación de conexión RRC.
- Las funciones de seguridad incluyendo la gestión de claves.
- Funciones de movilidad.
- Funciones de gestión de QoS.
- Informes de medición de UE y control de la información.
- NAS transmisión directa de mensajes entre el UE y NAS

8.5.2.3 PDCP (Protocolo de Convergencia de paquetes de datos)

- La compresión de cabecera.
- Entrega en secuencia y de la distribución de las unidades de datos de sesión PDCP (SDU) para reconocer los portadores de radio en el modo de entrega.
- Duplicar la detección.
- Cifrado y protección de la integridad.

8.5.2.4 RLC (Radio Link Control)

- Corrección de errores a través de petición automática de repetición (ARQ).
- De acuerdo con el tamaño del bloque de transporte y de re-segmentación en el caso de segmentación es necesaria una retransmisión.
- La concatenación de SDU para la misma portadora de radio.
- Protocolo de detección de errores y recuperación.
- Entrega en secuencia.

8.5.2.5 MAC (Control de Acceso al Medio)

- La multiplexación / demultiplexación de unidades de datos de paquetes (PDU de RLC).
- Programación de reporte de información.
- Corrección de errores a través Hybrid ARQ (HARQ).
- Priorización Canal Local.
- Relleno.

8.5.3 Vision del Evolved Packet Core

La EPC es completamente plano basado en IP en una red de Core, que se puede acceder a través del acceso de radio 3GPP (UMTS, HSPA, HSPA +, LTE) y de acceso de radio no-3GPP (por ejemplo, WiMAX, WLAN), lo que permite los procedimientos de traspaso dentro de los dos tipos de acceso. La flexibilidad de acceso a la EPC es atractivo para los operadores, ya que les permite tener un solo Core a través del cual se apoyan los distintos servicios. Los principales componentes de la EPC y sus funcionalidades son las siguientes.

8.5.4 Mobility Management Entity (MME)

Este es un elemento de plano de control clave. Entre otras funciones, se encarga de la gestión de las funciones de seguridad (autenticación, autorización, señalización NAS), el manejo de la movilidad estado de reposo, la itinerancia y handover. También la selección de nodos de la Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (PDN-GW) es parte de sus tareas. La interfaz S1-MME conecta el EPC con los eNB.

8.5.5 Serving Gateway (S-GW)

El EPC termina en este nodo, y que está conectado a la E-UTRAN a través de la interfaz S1-U. Cada UE se asocia a un único S-GW, que será el anfitrión de varias funciones. Es el punto de anclaje de movilidad, tanto para handover locales inter-eNB y la movilidad inter-3GPP, y se realiza entre operadores de carga, así como paquetes de enrutamiento y reenvío.

8.5.6 Packet Data Network Gateway (PDN-GW)

Este nodo proporciona al UE con acceso a una red de datos en paquetes (PDN) mediante la asignación de una dirección IP de la PDN para el UE, entre otras funciones. Además, la evolución de puerta de enlace de datos en paquetes (EPDG) proporciona una conexión de seguridad entre UEs conectados a una red de acceso no-3GPP con el EPC mediante túneles IPSec.

Desde la perspectiva del plano de usuario sólo los eNBs y las puertas de enlace, por lo que el sistema se considera "plana". Esto da lugar a una complejidad reducida en comparación con las arquitecturas anteriores.

8.6 Espectro y la gestión de ancho de banda

Con el fin de cumplir con los requisitos de IMT-Avanzada, así como los de los operadores 3GPP, LTE-Avanzada considera el uso de anchos de banda de hasta 100 MHz en las siguientes bandas de espectro (además de los ya asignados para LTE).

- 450-470 MHz (identificadas en la CMR-07 para ser utilizado a nivel mundial para los sistemas IMT).
- 698-862 MHz (identificado en la CMR-07 para ser utilizado en la Región 2 y nueve países de la Región 3).

- 790-862 MHz (identificadas en la CMR-07 para su uso en las Regiones 1 y 3).
- 2.3 a 2.4 GHz (identificadas en la CMR-07 para ser utilizado a nivel mundial para los sistemas IMT).
- 3.4 a 4.2 GHz (3.4 a 3.6 GHz identificadas en la CMR-07 para ser utilizado en un gran número de países).
- 4,4 a 4,99 GHz. [70]

Para habilitar posible despliegue en todo el mundo, como el apoyo a muchos requisitos normativos como sea posible, LTE está desarrollado para un número de bandas de frecuencia, que van desde 800 MHz hasta 3,5 GHz. Los anchos de banda disponibles son también flexibles a partir de 1,4 MHz hasta 20 MHz. LTE se desarrolló para apoyar tanto la tecnología dúplex por división de tiempo (TDD) y dúplex por división de frecuencia (FDD). Desde LTE proporciona una alta eficiencia espectral, soporta altas velocidades de datos e implementa una arquitectura de acceso flexible, que ha demostrado ser un éxito entre los operadores y clientes [71].

8.7 Subasta del espectro para 4G en Colombia 2013

En Junio de 2013 El Ministerio TIC mediante subasta otorgó las licencias de 4G a cinco compañías. De esta manera el Gobierno llevará Internet inalámbrico a los más pobres, conectará con las oportunidades a los colombianos que viven en las regiones más apartadas del país y mejorará la calidad del servicio.







El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones realizó la subasta más importante del sector TIC en los últimos años en América Latina, que permitirá ofrecer la tecnología 4G en el país.

La subasta permitió la entrada de dos nuevas empresas al mercado móvil

colombiano, con el fin de promover competencia, mayor calidad, más cobertura y mejores precios en los servicios de telefonía e internet móvil.

Seis empresas pujaron por las bandas de espectro y la distribución se presenta a continuación en la Figura 58:

Figura 58. Adjudicación de espectro para 4G en Colombia 2013

Bloques Adjudicados					
Empresa	Bloque adjudicado	Valor TOTAL COP \$ 770.530.882.800	Obligación de tabletas 556.374	Cobertura en Cabeceras Municipales	Migración
	Banda 2.500 MHz Bloque abierto de 30MHz	COP \$ 119.995.866.000	309.630	660	Armada Nacional
	Banda 2.500 MHz Bloque abierto de 30MHz y reservado de 40MHz	COP \$ 71.856.366.000 COP \$ 77.565.288.000	30.000	57	
	Banda AWS Bloque Reservado	COP \$ 107.464.140.000	30.000	57	
	Banda AWS Bloque abierto	COP \$ 195.749.940.000	67.426	144	Policía Nacional
	Banda AWS Bloque abierto	COP \$ 197.899.222.800	119.317	255	
	Sin asignación				

La migración de la red del Comando General de las Fuerzas Militares la realizan entre todos los asignatarios

Fuente [72]

Adicional a esta suma de dinero los operadores tendrán que destinar recursos para cumplir con obligaciones de cobertura a las cabeceras municipales más alejadas, planes especiales y compra de 556.374 tabletas para los estudiantes más pobres, como parte del pago por el espectro. El operador dominante tiene que cumplir con las obligaciones más altas.

Los recursos cercanos a los 770 mil 535 millones que recaudará el Estado serán destinados al desarrollo de programas sociales que buscan llevar la tecnología a los colombianos más pobres.

Para garantizar la transparencia durante el proceso de la Subasta 4G, se contó con la supervisión de organismos de control como la Procuraduría General de la Nación.

“Se cumplió el propósito del Presidente Juan Manuel Santos que con 4G ganarán los colombianos. Ganan porque llega más competencia a internet y a la telefonía móvil. Mayor calidad y mejores precios para los colombianos. Recaudamos 70% más de los recursos esperados que serán destinados a la realización de los programas sociales de Vive Digital”, manifestó el Ministro TIC, Diego Molano Vega, durante el acto de cierre de la subasta.

Con la realización de esta subasta el Gobierno del Presidente Santos cumple con las metas de infraestructura que se trazó en el Plan Vive Digital, con el objetivo de mejorar la calidad de los servicios de telefonía que reciben los colombianos y hacer un de Colombia un país moderno.

El mayor objetivo de esta subasta es favorecer al usuario con mejorar calidad del servicio, más cobertura y mejores tarifas, a través de la promoción de competencia en el mercado móvil. Se espera que en diciembre de este año comiencen a prestar los servicios de 4G en las principales ciudades del país [72].

9 CONCLUSIONES

- Por medio de fuentes confiables, como bases de datos, libros científicos y documentos emitidos por entes reguladores de las telecomunicaciones se logró consolidar la información base para comprender la terminología utilizada en el campo de la telefonía móvil.
- El lector encuentra en el documento una información cronológicamente organizada para comprender la evolución de la tecnología desde la primera generación hasta las generaciones actuales.
- Un usuario que se encuentre en el medio de las comunicaciones encuentra una explicación de los conceptos básicos, los cuales le permiten comprender los cambios en los estándares de la telefonía móvil a través de la historia.
- Se ilustró, como la optimización de la tecnología espectral, ha dado los avances más significativos para el mejoramiento en los servicios de voz y datos, aumentando velocidades de carga y descarga de datos y menor latencia.
- LTE en la actualidad está destinado a brindar mejores servicios de voz y datos debido a los desarrollos y cambios tecnológicos, lo que hace que sea un fuerte sucesor de las actuales tecnologías de 3G

REFERENCIAS BLIOGRAFICAS

- [1] “Portal web de Motorola.” [Online]. Available: http://www.motorola.com/us/consumers/About_Motorola-History-Timeline/About_Motorola-History-Timeline,en_US,pg.html.
- [2] J. S. P. Kim, L. H. Jun, and Mintaig, “Technical Standardization Status and the Advanced Strategies of the Next Generation Mobile Communications,” in *Advanced Communication Technology*, 2006, p. 1.
- [3] “Medición de la Sociedad de la Información fue elaborada por la División de Datos y Estadísticas de TIC,” *Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT*, p. 3.
- [4] “Estudio calidad de vida.,” *DANE*, p. 1.
- [5] “Resultados modulo TIC ECV 2012. Tendencias de bienes TIC. DANE Estudio calidad de vida ‘censo uso de telefonía móvil’,” in *Tecnologías de la Información y las comunicaciones*, p. 6.
- [6] L. Rivero Gutiérrez and J. Manera Bassa, “El Comportamiento del usuario de servicios de telecomunicaciones,” p. 6.
- [7] A. Balmori, “Efectos de las radiaciones electromagnéticas de la telefonía móvil sobre los insectos.,” in *Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León.*, 2011.
- [8] R. Madruga, “Teleemergencias,” p. 52.
- [9] M. Faúndez Zanuy, “No Title,” in *Sistemas de Comunicaciones*, p. 21.

- [10] “Teleinformatica para ingenieros en sistemas de información,” vol. 2, p. 472.
- [11] “Espectro.” [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/espectro>.
- [12] “Portal enciclopedia virtual del estado.” [Online]. Available: <https://www.gobiernoenlinea.gov.co/web/guest/encyclopedia/-/wiki/Enciclopedia> del Estado/Preguntas+y+respuestas+frecuentes+de+Espectro+Radioeléctrico+en+Colombia.
- [13] T. Slama-Cazacu, “Introduction psycholinguistics,” p. 25, 1973.
- [14] A. N. Cadavid and J. I. Clavos, “Conceptos del espectro radioeléctrico,” *Cartilla 1 ANE*, p. 4, 2010.
- [15] W. Tomasi, “Introducción y el espectro electromagnético,” in *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, pp. 1–3.
- [16] J. I. Cadavid, Andres Navarro Clavos, “Conceptos del espectro radioeléctrico,” *Cartilla 1 ANE*, p. 6, 2010.
- [17] E. Ruhland, B. Reiter, and G. Gestaltung, “Einfache Designregeln für Grafik.”
- [18] W. Tomasi, “Introducción a las comunicaciones electrónicas,” in *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, p. 6.
- [19] “Portal oficial del ministerio de tecnologías de la información y las telecomunicaciones.” [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/espectro>.
- [20] “Documento de Política IMT.” [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/espectro>.

- [21] T. Wayne, "Introducción a las comunicaciones electrónicas," in *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, pp. 361–366.
- [22] M. F. Zanuy, "Sistemas de Comunicaciones," p. 20.
- [23] "Manual Intel Adaptive Modulation (QPSK, QAM)," *Intel Communications*, p. 1, 2004.
- [24] O. S. Roig, J. L. Valenzuela González, and R. Agustí Comes, *Principios de comunicaciones móviles*. .
- [25] D. M. Rodríguez, "Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal," p. 10.
- [26] M. Buehrer and R. M. Buehrer, "Code Division Multiple Access (Cdma)," pp. 1–7, 2006.
- [27] R. Blake, "Sistemas electrónicos de comunicaciones," pp. 448–449.
- [28] "Sistemas de comunicaciones electrónicas," in *Introducción a las comunicaciones electrónicas*, p. 6.
- [29] D. M. Rodríguez, "Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal," p. 14.
- [30] D. Marcano, "Generalidades de Redes Celulares," pp. 4–6.
- [31] "Manual D900/D1800/D1900 Overview Siemens," *Siemens*, pp. 5–7.
- [32] "Telecomunicaciones Móviles," *Marcombo S.A*, vol. Capítulo 8, 1998.
- [33] D. M. Rodríguez, "Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal," p. 294.
- [34] A. S. Tanenbaum, "Redes de Computadoras," vol. 4, p. 157, 2003.

- [35] R. Huidobro, Jose Manuel. Conesa, "Sistemas de telefonía," vol. 5, pp. 167–168.
- [36] "Wireless Communications," McGraw Hill, p. 255.
- [37] R. Huidobro, Jose Manuel. Conesa, "Sistemas de telefonía," pp. 168–188.
- [38] A. S. Tanenbaum, "Redes de Computadoras," pp. 157,160–161.
- [39] D. M. Rodríguez, "Sistemas Inalámbricos de Comunicación Persona," p. 187.
- [40] L. L. B. Ghribi, "Understanding GPRS the GSM packet radio service," Computer Networks, p. 34.
- [41] A. A. Huurdeman, "The Worldwide History of Telecommunications," p. 530.
- [42] L. L. B. Ghribi, "Understanding GPRS the GSM packet radio service," p. 4.
- [43] L. L. B. Ghribi, "Computer Networks," p. 765.
- [44] A. S. Tanenbaum, "Redes de Computadoras," pp. 160–161.
- [45] G. J. Mullett, "Wireless Telecommunications Systems and Networks," p. 165.
- [46] J. M. Huidobro Moya and R. Conesa Pastor, "Sistemas de telefonía," p. 167.
- [47] "GSM Fastest Growing Wireless Technology." [Online]. Available: <http://www.3g.co.uk/PR/Jan2003/4706.htm>.
- [48] J. Lempiäinen and M. Manninen, "Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS," p. 228.

- [49] L. L. B. Ghribi, "Understanding GPRS the GSM packet radio service, Computer Networks," p. 9.
- [50] A. S. Tanenbaum, "Redes de Computadoras," pp. 160–161.
- [51] P.-J. P. Emmanuel Seurre, Patrick Savelli, "Edge for Mobile Internet."
- [52] R. M. B. Mike Buehrer, "Code Division Multiple Access (Cdma)." p. 7
- [53] Hsiao-Hwa Chen., "The Next Generation CDMA Technologies," pp. 9–10.
- [54] Hsiao-Hwa Chen., "The Next Generation CDMA Technologies."
- [55] "Mobile Telecommunications Standards: Gsm, Umts, Tetra, and Ermes," p. 487.
- [56] "UMTS: Its Origins, Architecture and the Standard, Pierre Lescuyer."
- [57] R. Kreher, "UMTS Signaling UMTS INTERFACES, PROTOCOLS, MESSAGE FLOWS, AND PROCEDURES ANALYZED AND EXPLAINED," p. 9.
- [58] "Portal oficial de la 3GPP." [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/HSPA>.
- [59] R. Kreher, "UMTS Signaling UMTS INTERFACES, PROTOCOLS, MESSAGE FLOWS, AND PROCEDURES ANALYZED AND EXPLAINED," p. 13.
- [60] H. Lehpamer, "Transmission Systems Design Handbook for Wireless Networks," p. 19.
- [61] Samuel C. Yang, "3G CDMA2000: Wireless System Engineering," pp. 1–7.

- [62] Samuel C. Yang, “3G CDMA2000: Wireless System Engineering,” pp. 1–7.
- [63] N. Boudriga, M. S. Obaidat, and F. Zarai, “Intelligent network functionalities in wireless 4G networks: Integration scheme and simulation analysis,” *Computer Communications*, vol. 31, no. 16, pp. 3752–3759, Oct. 2008.
- [64] M. Rinne and O. Tirkkonen, “LTE, the radio technology path towards 4G,” *Computer Communications*, vol. 33, no. 16, pp. 1894–1906, Oct. 2010.
- [65] C. Cox, “Una introducción a LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE y 4G Mobile Communications,” p. Cap.2.
- [66] “3GPP, Release-8 series_36 specifications, available.” [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/latest/Rel-8/36_series/>. .
- [67] J. Wiley, L. P, and L. T, “Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS,” p. 338, 2008.
- [68] “ITU.” .
- [69] “ITU.”
- [70] I. F. Akyildiz, D. M. Gutierrez-Estevez, and E. C. Reyes, “The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced,” *Physical Communication*, vol. 3, no. 4, pp. 217–244, Dec. 2010.
- [71] 3GPP, “No Title.” [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/LTE>.
- [72] “MinTIC.” [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/proceso-subasta-4g-noticias/2290-gobierno-adjudica-licencias-de-4g>.

BIBLIOGRAFIA

“3GPP, “No Title.” [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/LTE>.

“3GPP, Release-8 series_36 specifications, available.” [Online]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/latest/Rel-8/36_series/.

A. A. Huurdeman, “The Worldwide History of Telecommunications,” p. 530.

A. Balmori, “Efectos de las radiaciones electromagnéticas de la telefonía móvil sobre los insectos.,” in Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León., 2011.

A. N. Cadavid and J. I. Clavos, “Conceptos del espectro radioeléctrico,” Cartilla 1 ANE, p. 4, 2010.

A. S. Tanenbaum, “Redes de Computadoras,” vol. 4, p. 157, 2003.

A. S. Tanenbaum, “Redes de Computadoras,” pp. 157,160–161.

A. S. Tanenbaum, “Redes de Computadoras,” pp. 160–161.

A. S. Tanenbaum, “Redes de Computadoras,” pp. 160–161.

C. Cox, “Una introducción a LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE y 4G Mobile Communications,” p. Cap.2.

D. M. Rodríguez, “Sistemas Inalámbricos de Comunicación Persona,” p. 187.

D. Marcano, “Generalidades de Redes Celulares,” pp. 4–6.

D. M. Rodríguez, “Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal,” p. 14.

D. M. Rodríguez, “Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal,” p. 294.

D. M. Rodríguez, “Sistemas Inalámbricos de Comunicación Personal,” p. 10.

“Documento de Política IMT.” [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/espectro>.

E. Ruhland, B. Reiter, and G. Gestaltung, “Einfache Designregeln für Grafik.”

“Espectro.” [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/espectro>.

“Estudio calidad de vida.” DANE, p. 1.

G. J. Mullett, “Wireless Telecommunications Systems and Networks,” p. 165.

“GSM Fastest Growing Wireless Technology.” [Online]. Available: <http://www.3g.co.uk/PR/Jan2003/4706.htm>.

H. Lehpamer, “Transmission Systems Design Handbook for Wireless Networks,” p. 19.

Hsiao-Hwa Chen., “The Next Generation CDMA Technologies.”

Hsiao-Hwa Chen., “The Next Generation CDMA Technologies,” pp. 9–10.

I. F. Akyildiz, D. M. Gutierrez-Estevez, and E. C. Reyes, “The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced,” *Physical Communication*, vol. 3, no. 4, pp. 217–244, Dec. 2010.

“ITU.”

“ITU.”

J. I. Cadavid, Andres Navarro Clavos, “Conceptos del espectro radioeléctrico,” *Cartilla 1 ANE*, p. 6, 2010.

J. Lempiäinen and M. Manninen, “Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS,” p. 228.

- J. M. Huidobro Moya and R. Conesa Pastor, "Sistemas de telefonía," p. 167.
- J. S. P. Kim, L. H. Jun, and Mintaig, "Technical Standardization Status and the Advanced Strategies of the Next Generation Mobile Communications," in *Advanced Communication Technology*, 2006, p. 1.
- J. Wiley, L. P, and L. T, "Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS," p. 338, 2008.
- L. L. B. Ghribi, "Computer Networks," p. 765.
- L. L. B. Ghribi, "Understanding GPRS the GSM packet radio service," *Computer Networks*, p. 34.
- L. L. B. Ghribi, "Understanding GPRS the GSM packet radio service," p. 4.
- L. L. B. Ghribi, "Understanding GPRS the GSM packet radio service, *Computer Networks*," p. 9.
- L. Rivero Gutiérrez and J. Manera Bassa, "El Comportamiento del usuario de servicios de telecomunicaciones," p. 6.
- M. Faúndez Zanuy, "No Title," in *Sistemas de Comunicaciones*, p. 21.
- M. Rinne and O. Tirkkonen, "LTE, the radio technology path towards 4G," *Computer Communications*, vol. 33, no. 16, pp. 1894–1906, Oct. 2010.
- "Manual D900/D1800/D1900 Overview Siemens," Siemens, pp. 5–7.
- "Manual Intel Adaptive Modulation (QPSK, QAM)," Intel Communications, p. 1, 2004.
- M. Buehrer and R. M. Buehrer, "Code Division Multiple Access (Cdma)," pp. 1–7, 2006.
- "Medición de la Sociedad de la Información fue elaborada por la División de Datos y Estadísticas de TIC," Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT, p. 3.

M. F. Zanuy, "Sistemas de Comunicaciones," p. 20.

"MinTIC." [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/proceso-subasta-4g-noticias/2290-gobierno-adjudica-licencias-de-4g>.

"Mobile Telecommunications Standards: Gsm, Umts, Tetra, and Ermes," p. 487.

N. Boudriga, M. S. Obaidat, and F. Zarai, "Intelligent network functionalities in wireless 4G networks: Integration scheme and simulation analysis," *Computer Communications*, vol. 31, no. 16, pp. 3752–3759, Oct. 2008.

O. S. Roig, J. L. Valenzuela González, and R. Agustí Comes, *Principios de comunicaciones móviles*.

P.-J. P. Emmanuel Seurre, Patrick Savelli, "Edge for Mobile Internet."

"Portal enciclopedia virtual del estado." [Online]. Available: [https://www.gobiernoenlinea.gov.co/web/guest/encyclopedia/-/wiki/Enciclopedia del Estado/Preguntas+y+respuestas+frecuentes+de+Espectro+Radioeléctrico+en+Colombia](https://www.gobiernoenlinea.gov.co/web/guest/encyclopedia/-/wiki/Enciclopedia-del-Estado/Preguntas+y+respuestas+frecuentes+de+Espectro+Radioeléctrico+en+Colombia).

"Portal oficial de la 3GPP." [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/HSPA>.

"Portal oficial del ministerio de tecnologías de la información y las telecomunicaciones." [Online]. Available: <http://www.mintic.gov.co/index.php/espectro>.

"Portal web de Motorola." [Online]. Available: http://www.motorola.com/us/consumers/About_Motorola-History-Timeline/About_Motorola-History-Timeline,en_US,pg.html.

R. Blake, "Sistemas electrónicos de comunicaciones," pp. 448–449.

"Resultados modulo TIC ECV 2012. Tendencias de bienes TIC. DANE Estudio calidad de vida 'censo uso de telefonía móvil'," in *Tecnologías de la Información y las comunicaciones*, p. 6.

R. Huidobro, Jose Manuel. Conesa, "Sistemas de telefonía," vol. 5, pp. 167–168.

R. Huidobro, Jose Manuel. Conesa, "Sistemas de telefonía," pp. 168–188.

R. Kreher, "UMTS Signaling UMTS INTERFACES, PROTOCOLS, MESSAGE FLOWS, AND PROCEDURES ANALYZED AND EXPLAINED," p. 9.

R. Kreher, "UMTS Signaling UMTS INTERFACES, PROTOCOLS, MESSAGE FLOWS, AND PROCEDURES ANALYZED AND EXPLAINED," p. 13.

R. Madruga, "Teleemergencias," p. 52.

R. M. B. Mike Buehrer, "Code Division Multiple Access (Cdma)." p. 7

Samuel C. Yang, "3G CDMA2000: Wireless System Engineering," pp. 1–7.

Samuel C. Yang, "3G CDMA2000: Wireless System Engineering," pp. 1–7.

"Sistemas de comunicaciones electrónicas," in Introducción a las comunicaciones electrónicas, p. 6.

"Telecomunicaciones Móviles," Marcombo S.A, vol. Capítulo 8, 1998.

"Teleinformatica para ingenieros en sistemas de información," vol. 2, p. 472.

T. Slama-Cazacu, "Introduction psycholinguistics," p. 25, 1973.

T. Wayne, "Introducción a las comunicaciones electrónicas," in Sistemas de comunicaciones electrónicas, pp. 361–366.

"UMTS: Its Origins, Architecture and the Standard, Pierre Lescuyer."

W. Tomasi, "Introducción y el espectro electromagnético," in Sistemas de comunicaciones electrónicas, pp. 1–3.

W. Tomasi, "Introducción a las comunicaciones electrónicas," in Sistemas de comunicaciones electrónicas, p. 6.

"Wireless Communications," McGraw Hill, p. 255.