

# **ESTRATEGIAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA MIGRACIÓN A PRE CUARTA GENERACIÓN EN COLOMBIA**



## **ANEXOS**

**Santiago Adolfo Bravo Vidal  
Andrés Homero Vásquez Bravo**

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones  
Línea de Investigación: Gestión Integrada de Redes, Servicios y  
Arquitectura de Telecomunicaciones  
Popayán, 2011**

# **ESTRATEGIAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA MIGRACIÓN A PRE CUARTA GENERACIÓN EN COLOMBIA**



## **ANEXOS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para obtener el título  
de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**Santiago Adolfo Bravo Vidal  
Andrés Homero Vásquez Bravo**

Director  
MSc. Guefry L. Agredo Méndez

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Telecomunicaciones  
Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones  
Línea de Investigación: Gestión Integrada de Redes, Servicios y  
Arquitectura de Telecomunicaciones**

Popayán, 2011

## CONTENIDO

<b>ANEXO A. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS REDES MÓVILES CELULARES EN COLOMBIA.....</b>	<b>1</b>
1. ENCUESTA.....	1
1.1. RANGOS DE FRECUENCIA, ANCHO DE BANDA ASIGNADO, ANCHO DE BANDA UTILIZADO.....	1
1.2. TECNOLOGÍA UTILIZADA.....	1
1.3. BASES INSTALADAS.....	3
1.4. SERVICIOS PRESTADOS.....	3
1.5. ARPU (AVERAGE REVENUE PER USER).....	3
1.6. INTENCIÓN DE MIGRAR A PRE 4G.....	4
1.7. MIGRACIÓN A PRE 4G.....	4
1.8. SERVICIOS DE INTERÉS.....	4
<b>ANEXO B. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES EN COLOMBIA.....</b>	<b>5</b>
<b>ANEXO C. ACCESO A PAQUETES EN EL ENLACE DE BAJADA DE ALTA VELOCIDAD.....</b>	<b>6</b>
1. GENERALIDADES.....	6
2. CAMBIOS INTRODUCIDOS Y TECNOLOGIAS CLAVE EN HSDPA.....	8
3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA HSDPA.....	11
3.1 NÚCLEO DE RED.....	11
3.2 RED DE ACCESO.....	14
3.3 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS.....	16
4. ASPECTOS TECNICOS DE HSDPA.....	18
4.1. WCDMA.....	18
4.2. CANALES EN HSDPA.....	20
4.2.1. Canales Lógicos.....	20
4.2.2. Canales de Transporte.....	21
4.2.3. Canales Físicos.....	22
4.2.4. Mapeo de Canales.....	24
4.2.5. Bandas de Espectro Radioeléctrico.....	24
<b>ANEXO D. EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO.....</b>	<b>26</b>
1. GENERALIDADES.....	26

<b>2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA EVOLUCIONADO DE PAQUETES .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1. NÚCLEO DE PAQUETES EVOLUCIONADO .....</b>	<b>27</b>
2.1.1. Entidad de Gestión de la Movilidad .....	28
2.1.2. Pasarela de Red de Paquetes de Datos / Servicios .....	28
2.1.3. Agrupación de Nodos MME y S-GW.....	29
<b>2.2. RED DE ACCESO RADIO TERRESTRE UMTS EVOLUCIONADA .....</b>	<b>30</b>
<b>3. ASPECTOS TÉCNICOS .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 OFDM.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 OFDMA .....</b>	<b>32</b>
<b>3.3 SC-FDMA.....</b>	<b>32</b>
<b>3.4 MIMO .....</b>	<b>34</b>
<b>3.5 NIVEL FÍSICO .....</b>	<b>35</b>
3.5.1. Estructura de Trama Tipo Uno para LTE FDD .....	36
3.5.2. Estructura de Trama Tipo Dos para LTE TDD .....	36
3.5.3. Estructura de Recursos Físicos en el Enlace de Bajada .....	37
3.5.4. Prefijo Cíclico Normal y Extendido en el Enlace de Bajada .....	38
3.5.5. Señales de Referencia Definidas para la Transmisión en el Enlace de Bajada .....	39
3.5.6. Estructura de Recurso Físico en el Enlace de Subida .....	39
3.5.7. Señales de Referencia Definidas Para la Transmisión en el Enlace de Subida .....	40
<b>3.6 CANALES .....</b>	<b>41</b>
3.6.1. Canales Lógicos .....	42
3.6.2. Canales de Transporte.....	43
3.6.3. Canales Físicos .....	44
3.6.4. Mapeo de Canales.....	45
<b>3.7 OPCIONES EN EL ANCHO DE BANDA DE CANAL .....</b>	<b>45</b>
<b>3.8 BANDAS DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO E. INTEROPERABILIDAD DE LTE CON REDES CDMA Y CON TECNOLOGIAS NO 3GPP.....</b>	<b>47</b>
<b>1. INTEROPERABILIDAD .....</b>	<b>47</b>
<b>2. INTEROPERABILIDAD CON REDES GSM/GPRS/UMTS/HSPA .....</b>	<b>49</b>
<b>3. INTEROPERABILIDAD CON REDES CDMA .....</b>	<b>51</b>
<b>4. INTEROPERABILIDAD CON TECNOLOGIAS NO 3GPP Y NO CONFIABLES..</b>	<b>52</b>

<b>ANEXO F. PLAN DE MIGRACIÓN DE LA BANDA DE 700 MHZ EN COLOMBIA. ....</b>	<b>54</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>55</b>

## LISTADO DE FIGURAS

Figura C.1.	Cambios y Tecnologías Clave en HSDPA. ....	8
Figura C.2.	Manejo de las Retransmisiones en HSDPA. ....	9
Figura C.3.	Modulación y Codificación Adaptativa.....	10
Figura C.4.	HARQ en HSDPA. ....	10
Figura C.5.	Ilustración de la Arquitectura HSDPA. ....	11
Figura C.6.	Núcleo de Red HSDPA. ....	12
Figura C.7.	Relación entre el RNC y el SGSN antes de HSDPA. ....	13
Figura C.8.	Relación entre el RNC y el SGSN en HSDPA. ....	14
Figura C.9.	Red de Acceso HSDPA.....	15
Figura C.10.	Arquitectura de Protocolos en UMTS.....	16
Figura C.11.	Arquitectura de Protocolos de Usuario en HSDPA. ....	17
Figura C.12.	Relación entre Aleatorización y Canalización. ....	18
Figura C.13.	Niveles de Potencia de la Señal.....	19
Figura C.14.	Árbol Generador de los Códigos OVSF. ....	19
Figura C.15.	Canales en HSDPA. ....	20
Figura C.16.	Manejo de los Canales en HSDPA.....	24
Figura D.1.	Camino de Evolución del 3GPP.....	26
Figura D.2.	Arquitectura General EPS. ....	27
Figura D.3.	Arquitectura General EPC.....	28
Figura D.4.	Movilidad Inter Área Conjunta. ....	29
Figura D.5.	Arquitectura General de la E-UTRAN. ....	30
Figura D.6.	Desviación de Portadoras OFDM.....	31
Figura D.7.	Banda de Guarda en OFDM.....	31
Figura D.8.	Asignación de Sub-portadoras en OFDM y OFDMA.....	32
Figura D.9.	Asignación de Sub-portadoras en OFDMA y SC-FDMA.....	33
Figura D.10.	Asignación de Sub-Portadoras en SC-FDMA. ....	33
Figura D.11.	Esquema Típico de un Sistema MIMO.....	34
Figura D.12.	Esquemas Dúplex Basados en FDD y TDD.....	35
Figura D.13.	Estructura de una Trama en el Dominio del Tiempo (Modo FDD). ....	36
Figura D.14.	Estructura de una Trama en el Dominio del Tiempo (Modo TDD). ....	37
Figura D.15.	Recursos Físicos en el Enlace de Bajada. ....	37

Figura D.16.	Estructura de los Bloques de Recursos en el Dominio de la Frecuencia para el Enlace de Bajada. ....	38
Figura D.17.	Sub-trama y Estructura del Prefijo Cíclico Normal/Extendido en el Enlace de Bajada. ....	38
Figura D.18.	Estructura de las Señales de Referencia para una Única Antena en el Enlace de Bajada. ....	39
Figura D.19.	Asignación de Frecuencias en el Enlace de Subida. ....	40
Figura D.20.	Asignación de Recursos en el Enlace de Subida. ....	40
Figura D.21.	Señales de Referencia para el Sondeo del Canal en el Enlace de Subida.....	41
Figura D.22.	Arquitectura de Canales.....	41
Figura D.23.	Mapeo de Canales en los Enlaces de Bajada y Subida.....	45
Figura E.1.	Tiempos de Traspaso ( <i>Handover</i> ). ....	47
Figura E.2.	Resumen del Traspaso entre RATs de la E-UTRAN a la UTRAN.....	48
Figura E.3.	Interoperabilidad de LTE con otras Redes.....	49
Figura E.4.	Interoperabilidad con Redes GSM/GPRS/UMTS/HSPA, Opción 1. ....	50
Figura E.5.	Interoperabilidad con Redes GSM/GPRS/UMTS/HSPA, Opción 2. ....	50
Figura E.6.	Interoperabilidad con Redes CDMA. ....	51
Figura E.7.	Interoperabilidad con Redes no-3GPP y no Confiables.....	53
Figura F.1.	Plan de Migración Banda 700 MHz. ....	54

## LISTADO DE TABLAS

Tabla A.1	Tecnología de Datos.....	1
Tabla A.2	Tecnología de Voz.....	1
Tabla A.3	Zonas de Cobertura.....	2
Tabla A.4	Infraestructura Reutilizable.....	3
Tabla B.1	Distribución Geográfica de las Tecnologías Móviles en Colombia.....	5
Tabla C.1.	Nuevas Funcionalidades para HSDPA.....	16
Tabla C.2.	Canales de Tráfico.....	20
Tabla C.3.	Canales de Control.....	21
Tabla C.4.	Canales de Transporte Dedicados.....	21
Tabla C.5.	Canales de Transporte Comunes.....	22
Tabla C.6.	Canales Físicos.....	22
Tabla C.7.	Bandas de Espectro Radioeléctrico.....	25
Tabla D.1.	Canales de Tráfico.....	42
Tabla D.2.	Canales de Control.....	42
Tabla D.3.	Canales de Transporte.....	43
Tabla D.4.	Canales Físicos.....	44
Tabla D.5.	Opciones en el Ancho de Banda del Canal.....	45
Tabla D.6.	Bandas de Espectro Definidas por el 3GPP para los Modos FDD y TDD.....	46





## ANEXO A. RECOLECCIÓN DE DATOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS REDES MÓVILES CELULARES EN COLOMBIA.

### 1. ENCUESTA

El propósito de esta encuesta es determinar el estado actual de los operadores y sus redes en el país, la o las tecnologías que tienen implementadas actualmente y los planes de migración (si los tienen) a corto o largo plazo. De esta forma tener un panorama claro del entorno colombiano para poder plantear estrategias o procedimientos para la migración a Pre 4G en Colombia.

**Nota: la información suministrada, será manejada de forma confidencial y sin revelación de fuente.**

#### 1.1. RANGOS DE FRECUENCIA, ANCHO DE BANDA ASIGNADO, ANCHO DE BANDA UTILIZADO

- ¿En qué Bandas de frecuencia opera actualmente la empresa y cuál es el porcentaje de utilización de ese ancho de banda asignado?

#### 1.2. TECNOLOGÍA UTILIZADA

- ¿Cuál es la tecnología implementada en su red para prestar servicios de voz y cuál o cuáles para datos?

TECNOLOGÍA DE DATOS (marque con X todas las que apliquen)

Tabla A.1 Tecnología de Datos.

CDPD	GPRS	EDGE	HSDPA	OTRA

TECNOLOGIA DE VOZ (marque con X todas las que apliquen)

Tabla A.2 Tecnología de Voz.

GSM ¿QUE RELEASE?	GPRS	EDGE	HSDPA

- ¿Cuál es la distribución geográfica de estas tecnologías en las ciudades de Colombia?



**Tabla A.3 Zonas de Cobertura.**

Depto.	Zona	Tecnología de Datos					Tecnología de Voz			
		CDPD	GPRS	EDGE	HSDPA	OTRA	GMS ¿Release?	GPRS	EDGE	HSDPA
Antioquia	Rural									
	Ciudades Principales									
Atlántico	Rural									
	Ciudades Principales									
Bolívar	Rural									
	Ciudades Principales									
Caldas	Rural									
	Ciudades Principales									
Caquetá	Rural									
	Ciudades Principales									
Cauca	Rural									
	Ciudades Principales									
Choco	Rural									
	Ciudades Principales									
Cundinamarca	Rural									
	Ciudades Principales									
Huila	Rural									
	Ciudades Principales									
Norte de Santander	Rural									
	Ciudades Principales									
Nariño	Rural									
	Ciudades Principales									
Putumayo	Rural									
	Ciudades Principales									
Risaralda	Rural									
	Ciudades Principales									
Santander	Rural									
	Ciudades Principales									
Tolima	Rural									
	Ciudades Principales									
Valle del Cauca	Rural									
	Ciudades Principales									



### 1.3. BASES INSTALADAS

- ¿Cuál es el número de Radio Bases que actualmente tienen instaladas en Colombia con telefonía móvil de tercera generación?
- De acuerdo a la experiencia adquirida en procesos de migración en anteriores generaciones de telefonía móvil, ¿Qué tipo de infraestructura se reutiliza con la migración, y que cambios implica una migración de tecnología?
- ¿Los cambios son más de tipo software o hardware?

**Tabla A.4** Infraestructura Reutilizable.

ELEMENTOS	REUTILIZABLE
Estación Base	
Torres	
Trasmisores/Receptores Radio	
Antenas	
Medios de transmisión	
Baterías Eléctricas	

### 1.4. SERVICIOS PRESTADOS

- ¿Cuál es el porcentaje de usuarios en prepago y en pospago?
- ¿Cuáles son los servicios prestados actualmente y los de mayor demanda, en prepago y en pospago, para Uds.?
- ¿Cuáles son los servicios que proporcionan las mayores utilidades y los que requieren los menores recursos tecnológicos?
- ¿Cuál considera que será el “*killer application*” en Colombia en los próximos años?
- ¿Considera que los servicios de voz seguirán siendo importantes dentro de los ingresos del operador?

### 1.5. ARPU (AVERAGE REVENUE PER USER)

- ¿Cuál es el Ingreso Promedio por Usuario en el último año?
- ¿Se ha recuperado la inversión realizada en el despliegue de la red actual?  
¿Incide esto en la decisión de migrar a Pre 4G?



### 1.6. INTENCIÓN DE MIGRAR A PRE 4G

- ¿La empresa ha realizado estudios de mercadeo que de indicios de requerimientos de los usuarios de servicios de Pre 4G?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

- ¿Existe en la actualidad planes de realizar una migración a Pre 4G?

SI \_\_\_ NO \_\_\_

**Si su respuesta a la pregunta 10 fue afirmativa, responda las preguntas 15 a 19.**

### 1.7. MIGRACIÓN A PRE 4G

- ¿Cuáles son los planes de su empresa para implementar una red Pre 4G en Colombia?
- ¿Cuáles serían los cambios previstos en la infraestructura y/o arquitectura de red más importantes en esta migración?
- ¿Cuál es el camino de migración (WiMAX móvil 802.16m ó LTE – *Long Term Evolution*) más adecuado para su compañía?
- ¿Cuál sería la expectativa, en tiempo, para realizar la migración a Pre 4G?
- ¿Se considera que la empresa cuenta o contaría con los recursos suficientes para afrontar un proceso de migración a Pre 4G?

### 1.8. SERVICIOS DE INTERÉS

- ¿Cuáles de los siguientes servicios esperarían implementar dentro de su red al migrar a Pre 4G?:
  - Internet Móvil de alta velocidad
  - Televisión Móvil
  - Geoposicionamiento
  - Servicios IMS – RCS (*Rich Communication Suite*):
    - *Enhanced Phonebook* (Agenda telefónica mejorada)
    - *Enhanced Messaging* (Mensajería mejorada)
    - Juegos en tiempo real
    - *Enriched Call* (Llamadas multimedia)
  - e-Salud
  - Servicios de máquina a máquina (M2M)
  - Aplicaciones de ocio en vehículos
  - Aplicaciones basadas en *widgets* (Aplicaciones informáticas visuales)
  - Otros ¿Cuáles?



## ANEXO B. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS TECNOLOGÍAS MÓVILES EN COLOMBIA

En la Tabla B.1<sup>1</sup> se muestra la distribución geográfica de las tecnologías implementadas en los departamentos más importantes del país, destacando que los operadores móviles están en las 32 capitales del país con la tecnología GSM/GPRS<sup>2</sup>/EDGE<sup>3</sup> y en aproximadamente 24 capitales con la tecnología HSDPA.

**Tabla B.1** Distribución Geográfica de las Tecnologías Móviles en Colombia.

Depto.	Zona	Tecnología de Datos			Tecnología de Voz
		GPRS	EDGE	HSDPA	GSM RELEASE
Antioquia	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Atlántico	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Bolívar	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Caldas	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Caquetá	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Cauca	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Choco	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Cundinamarca	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Huila	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Norte de Santander	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4
Nariño	Rural	X	X		R99 y R4
	Ciudades Principales		X	X	R99 y R4

<sup>1</sup> Parte de esta información es suministrada por los operadores en sus páginas *web* y se complemento con la información recolectada por medio de las encuestas realizadas.

<sup>2</sup> Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS, *General Packet Radio Service*).

<sup>3</sup> Velocidades de transmisión de datos mejoradas para la Evolución de GSM (EDGE, *Enhanced Data rates for GSM of Evolution*)



## ANEXO C. ACCESO A PAQUETES EN EL ENLACE DE BAJADA DE ALTA VELOCIDAD

En el presente anexo se revisan de los conceptos más importantes de la tecnología Acceso a Paquetes en el Enlace de Bajada de Alta Velocidad (HSDPA, *High-Speed Downlink Packet Access*), a ser tenidos en cuenta para un proceso de migración a LTE, en busca de brindar una base teórica al lector para un mejor entendimiento de las comparaciones que se detallan en el capítulo 2, además de las estrategias y procedimientos que se presentan en el capítulo 3.

### 1. GENERALIDADES

La tecnología móvil de banda ancha HSDPA, es un estándar del Proyecto de Cooperación en Sistemas de Tercera Generación (3GPP, *3rd Generation Partnership Project*) especificado a partir del *Release 5*. Es una actualización de las redes WCDMA<sup>4</sup> (UMTS<sup>5</sup>), por lo cual HSDPA es totalmente compatible con las redes antecesoras y existen algunas aplicaciones multimedia desarrolladas para este tipo de redes que son compatibles con HSDPA. Adicional a esto, la mayoría de los proveedores UMTS dan soporte a HSDPA.

La tecnología HSDPA mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información alcanzando velocidades de 14 Mbps y una velocidad efectiva de comunicación de datos (*throughput*<sup>6</sup>) promedio cercana a 1 Mbps [3]. Estas mejoras en el enlace de bajada, a través de HSDPA, fueron los primeros pasos de actualización disponibles para los operadores móviles que buscaban desplegar servicios de banda ancha. Generalmente consiste en una actualización *software* para la mayoría de las redes WCDMA.

Cuando se realiza el despliegue de las tecnologías de los *Release 5* y *6* del 3GPP, HSDPA y Acceso a Paquetes en Enlace de Subida de Alta Velocidad (HSUPA, *High-Speed Uplink Packet Access*) en una red, se habla de la tecnología móvil de banda ancha de Acceso a Paquetes de Alta Velocidad (HSPA, *High Speed Packet Access*), la cual es la ampliamente utilizada en el mundo. En América latina el 92 % de las suscripciones son servidas por redes GSM<sup>7</sup>-UMTS-HSPA y mundialmente ha sido implementado en más de 365 redes en operación comercial en más de 150 países<sup>8</sup>.

Este anexo se dedicará a la tecnología HSDPA, la cual ha sido diseñada para aumentar la capacidad de la red en el enlace de bajada y es la tecnología base de la cual se partirá en

---

<sup>4</sup> Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA, *Wideband Code Division Multiple Access*), es una tecnología de acceso al medio, en que el ancho de banda de las señales transmitidas es mucho mayor que el mínimo necesario para la transmisión de la información [1].

<sup>5</sup> Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System*) es una de las tecnologías usadas por los móviles de tercera generación (3G, 3GSM, también llamado WCDMA) [2].

<sup>6</sup> Se mantendrá este término en inglés a lo largo del trabajo de grado.

<sup>7</sup> Sistema Global para la Comunicación Móvil (GSM, *Global System for Mobile Communication*)

<sup>8</sup> Fuente: [http://www.teleco.com.br/es/pais/es\\_3g.asp](http://www.teleco.com.br/es/pais/es_3g.asp).



el proceso de migración, ya que es la tecnología que actualmente se emplea en el país, como se describió en el capítulo 1.

Las velocidades de HSDPA son ideales para aplicaciones que tienen un gran consumo de banda ancha, tales como: transferencia de archivos grandes, flujo multimedia (*streaming*) y navegación rápida en internet. HSDPA reduce la latencia a valores cercanos a los 70 ms, lo que la hace ideal para aplicaciones en tiempo real, tales como juegos interactivos y aplicaciones de negocios sensibles al retardo, como redes virtuales privadas (VPN, *Virtual Private Networks*) [4].

Estos valores de latencia, así como la velocidad y *throughput* de HSDPA, se obtienen no solo por la introducción de los canales compartidos, sino también por el uso de la modulación de amplitud en cuadratura (16 QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*), por la reducción del intervalo de tiempo de transmisión (TTI, *Time Transmisión Interval*) y por el uso de turbo códigos como método de corrección de errores, solicitud de repetición automática híbrida (ARQ Híbrido - HARQ, *Hybrid Automatic Repeat Request*).

Adicional a esto, una de las características más importante de HSDPA es que el sistema es capaz de usar diferentes codificaciones y modulaciones a lo que se denomina Codificación y Modulación Adaptativa (AMC, *Adaptive Modulation and Coding*). Esta técnica, asigna la modulación 16 QAM o QPSK<sup>9</sup> dependiendo de la calidad de recepción de la señal por parte del usuario. Gracias a todas estas características es que HSDPA es una tecnología que no solo proporciona acceso de banda ancha sino que permite aprovechar, la infraestructura ya desarrollada para WCDMA (UMTS) [6]. Los detalles de HSDPA, así como los cambios introducidos y las tecnologías clave de la misma se amplían a continuación.

---

<sup>9</sup> La transmisión por desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK, *Quadrature Phase Shift Keying*) es una forma de modulación en la cual la señal es enviada en cuatro fases (45, 135, 225, y 315 grados), y el cambio de fase de un símbolo al siguiente codifica dos bits por símbolo [5].



## 2. CAMBIOS INTRODUCIDOS Y TECNOLOGIAS CLAVE EN HSDPA

Para mejorar el desempeño de la red del sistema WCDMA, HSDPA hace una serie de cambios en la interfaz de radio, que afectan principalmente a los niveles físicos y de transporte, los cuales se muestran en la Figura C.1. [3].



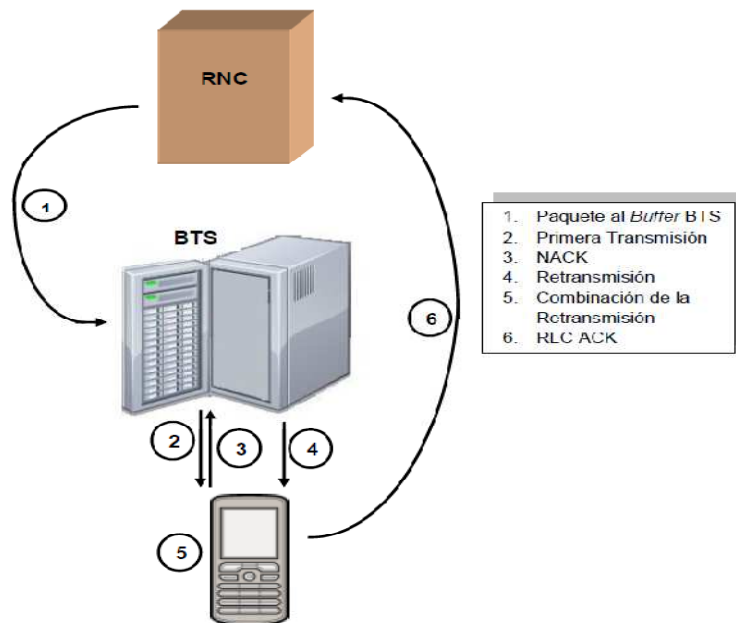
**Figura C.1.** Cambios y Tecnologías Clave en HSDPA.

A continuación, se describirán algunas de las técnicas más importantes que se ha incorporado y que permiten que HSDPA no solo alcance altas velocidades de transferencia, sino otros beneficios, como una disminución en la latencia de la red y el incremento de la eficiencia.

Las transmisiones HSDPA implican una serie de nuevas funciones, que no suponen cambios importantes en la arquitectura, por lo tanto, es fácil adaptar las redes a esta tecnología, con un mínimo impacto sobre las interfaces radio, ya existentes en el *Release* 99. Minimizar los cambios en la arquitectura permite modernizar las redes fácilmente para incorporar HSDPA, y asegura la funcionalidad de HSDPA en medios donde no todas las celdas incorporan HSDPA [7].

Dentro de los cambios introducidos por HSDPA se tienen características claves, como el manejo de las retransmisiones en el nivel físico. En el *Release* 99 no hay ninguna diferencia en las operaciones del nivel físico, tanto si se trata de un paquete nuevo como de una retransmisión. Con HSDPA los paquetes recibidos por primera vez se almacenan en un *buffer* que se encuentra en el Nodo B (o BTS) como se ilustra en la Figura C.2. [8].





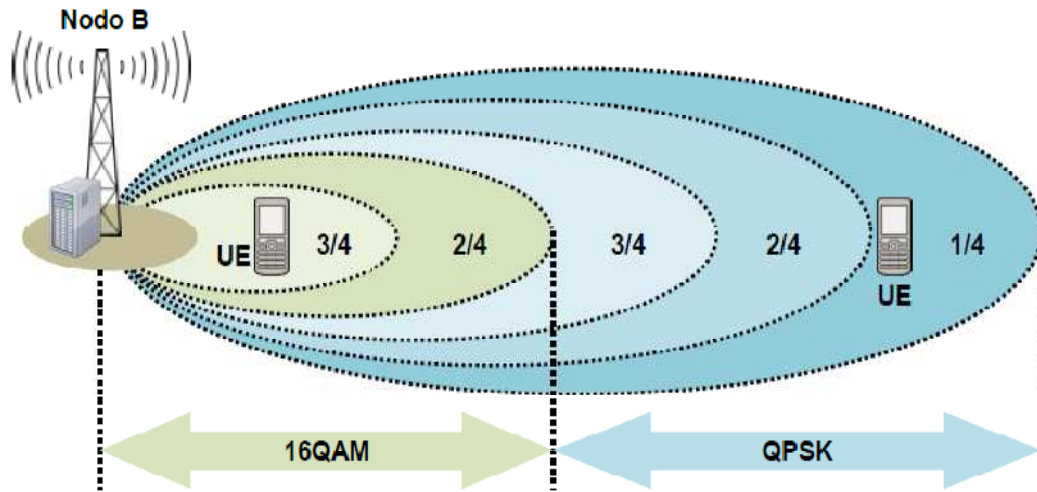
**Figura C.2.** Manejo de las Retransmisiones en HSDPA.

El Nodo B mantiene el paquete en el *buffer* incluso si se ha transmitido al usuario y, en caso de error al recibir el paquete tiene lugar la retransmisión automática desde la estación base sin participación del RNC [3]. Reduciendo de esta forma la latencia y evitando sobrecargar la red innecesariamente, especialmente reduciendo la carga de señalización entre el Nodo B y el RNC.

Otra de las características importantes de HSDPA es el uso de la modulación y codificación adaptativa (AMC), ya que HSDPA además de usar la modulación QPSK del *Release* 99, utiliza la modulación 16QAM para proporcionar velocidades de transmisión de datos más altas.

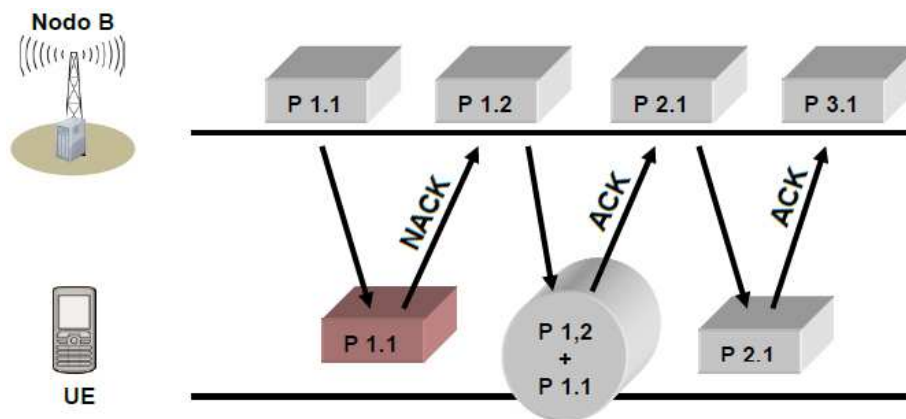
Por medio de un esquema de modulación y codificación adaptativa, se ofrece las mejores velocidades a los usuarios con las condiciones de canal más favorables, es decir, que va a depender de la posición del terminal y que tan cerca está del nodo B para alcanzar la máxima velocidad.

El software contenido en el Nodo B analiza a cada usuario que se encuentra en la celda para ver la calidad de la señal y utilizando esta información y la capacidad de la celda al mismo tiempo, determina qué esquema de modulación utiliza para comunicarse con los dispositivos. De igual forma, la tasa de codificación de canal también se modifica en forma dinámica de acuerdo a las condiciones radioeléctricas, pudiendo variar entre 1/6 y 0.98, sin embargo, las tasas efectivas que normalmente se usan están entre 1/4 y 3/4. En la Figura C.3. [6], se puede apreciar como la AMC modifica la modulación y la codificación, dependiendo de la distancia que está el UE del nodo B.



**Figura C.3.** Modulación y Codificación Adaptativa.

HSDPA incluye también la técnica de corrección de errores Solicitud de Repetición Automática Híbrida (ARQ Híbrido - HARQ, *Hybrid Automatic Repeat Request*). Esta técnica se emplea para corregir errores en la transmisión de los paquetes entre el nodo B y el dispositivo de usuario. El dispositivo solicita una retransmisión de algún paquete que tenga errores mientras almacena todos los paquetes viejos erróneos. El dispositivo luego recombina todos los paquetes para recuperar el mensaje correcto. Esto se conoce como combinación suave (*soft-combining*). Como almacena todos los paquetes con errores y los utiliza para corregir la transmisión, se alcanza un método más fiable y eficiente, lo cual se muestra en la Figura C.4. [3].



**Figura C.4.** HARQ en HSDPA.

HARQ es un paso más allá del tradicional ARQ, en el cual los mensajes erróneos son rechazados por el receptor y se transmite una petición de retransmisión.



### 3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA HSDPA

Las técnicas básicas de HSDPA se basan en la adaptación rápida a las variaciones en las condiciones radio. Por lo tanto, estas técnicas se deben ubicar cerca de la interfaz de radio en el lado de la red, que está en el Nodo B. Al mismo tiempo, un objetivo importante del diseño de HSDPA es conservar la división funcional entre los niveles y los nodos del *reléase 99* en la medida de lo posible. En la Figura C.5. [9], se observan el núcleo de red y la red de acceso, principales elementos de la arquitectura, se muestra la reducción de los cambios en la misma, de modo que se simplifica la introducción de HSDPA en las redes ya desplegadas y se asegura también la operación en ambientes donde no todas las celdas se han cambiado a HSDPA.

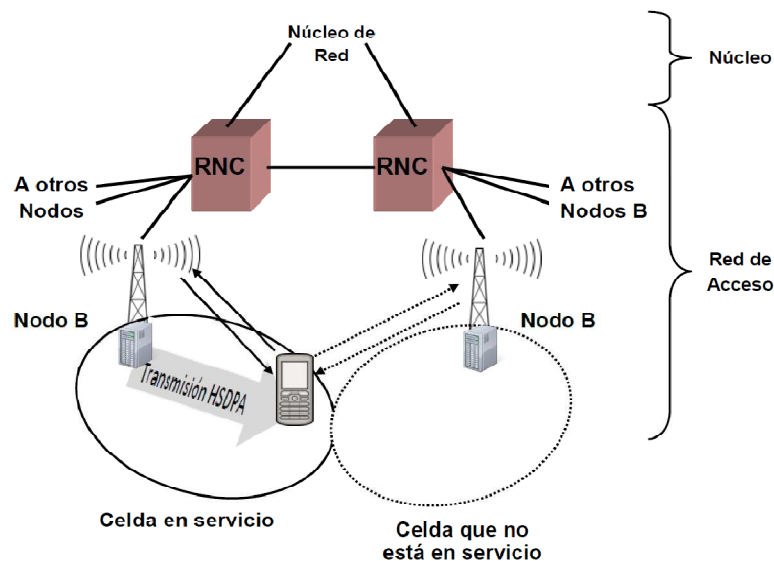


Figura C.5. Ilustración de la Arquitectura HSDPA.

#### 3.1 NÚCLEO DE RED

El núcleo de Red (CN, *Core Network*), provee funciones de conmutación, enrutamiento, transporte de tráfico de la red y bases de datos, y tránsito del tráfico de los usuarios. Está compuesto por el dominio de Conmutación de Circuito (CS, *Circuit Switching*), el dominio de Conmutación de Paquetes (PS, *Packet Switching*) y elementos que soportan ambos tipos de conmutación. Uno de los cambios presentes en el núcleo de red de HSDPA, es la introducción del Subsistema Multimedia IP (IMS, *IP Multimedia Subsystem*), que integra las telecomunicaciones móviles con internet, y proporciona mecanismos sofisticados de servicios para las comunicaciones [10]. En la Figura C.6. [6], se muestran las funcionalidades IMS añadidas al núcleo de la red y los 3 elementos que la componen:

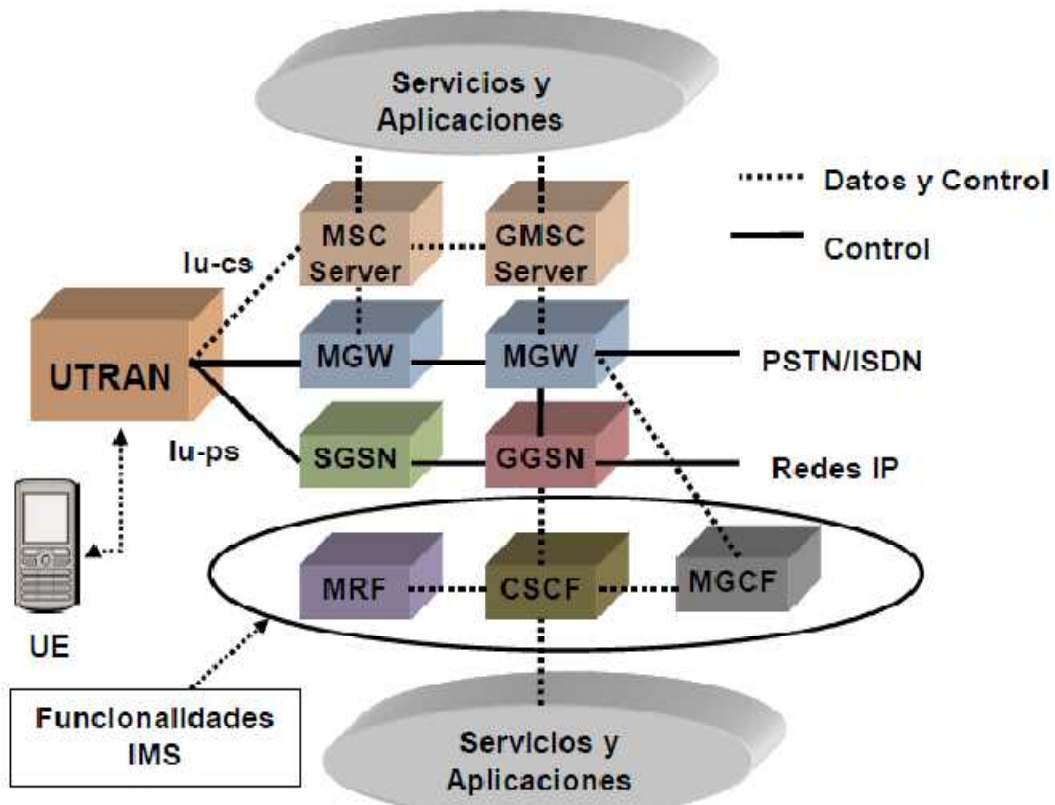


Figura C.6. Núcleo de Red HSDPA.

A continuación se realiza una pequeña descripción de las funciones de los elementos del núcleo de red.

- Gestión de la Pasarela de Medios en el Dominio de Conmutación de Circuitos (CS-MGM, *Circuit Switched-Media Gateway Management*): es la pasarela de medios encargada de que el flujo de información que llega al núcleo se transforme a paquetes IP.
- Pasarela de Medios en el Dominio de Conmutación de Circuitos (CS-MGW, *Circuit Switched Media Gateway*): es la pasarela de medios encargada de cambiar el formato de paquetes IP al formato de la red tradicional o la red de conmutación de circuitos.
- Servidor del Centro de Conmutación Móvil (MSC SERVER, *Mobile Switching Centre Server*): es el que controla o da órdenes a las pasarelas de medios de cómo se debe realizar la conmutación de paquetes, es decir, le dice al *media Gateway* adonde deben enrutar los paquetes y se encarga del control y señalización de los mismos.
- Centro de Autenticación (AuC, *Authentication Centre*): es donde se encuentran las claves para este fin y es la responsable de realizar este procedimiento para el abonado.
- Pasarela del Centro de Conmutación Móvil (GMSC, *Gateway Mobile Switching Center*): se encarga de procesar las conexiones entrantes y salientes con las

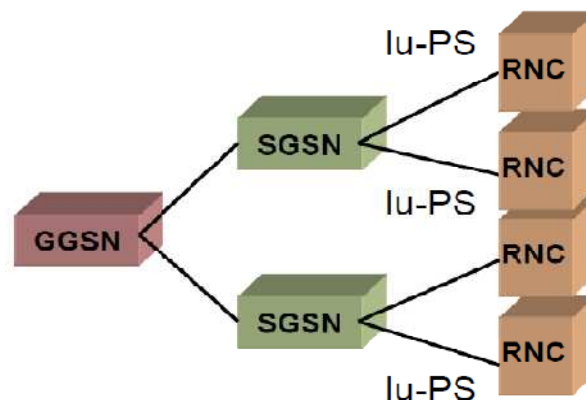


redes externas. Ante una llamada entrante, la GMSC consulta sobre la ubicación del móvil, y luego dirige la llamada al Centro de Conmutación Móvil (MSC, *Mobile Switching Center*) correspondiente.

- Función de Recursos Multimedia (MRF, *Media Resource Function*): se encarga de controlar los recursos y agrupar distintos tipos de tráfico multimedia.
- Función de Control del Estado de Llamada (CSCF, *Call State Control Function*): encargada de manejar el estado de las sesiones y ser el punto de contacto de todas las conexiones al IMS para un usuario. También realiza funciones de un *firewall* para la red del operador.
- Función de Control de la Pasarela de Medios (MGCF, *Media Gateway Control Function*): se encarga de la manejar las conversiones de protocolos, es decir, transforma la señalización del Protocolo de Inicio de Sesión (SIP, *Session Initiation Protocol*) usada en la red de paquetes, a la señalización que se usa en la red telefónica pública conmutada (PSTN, *Public Switched Telephone Network*).

Adicional a esto, HSDPA introduce un cambio en el dominio del conmutador de paquetes el cual está compuesto por el Nodo de Soporte de Servicio GPRS<sup>10</sup> (SGSN, *Serving GPRS Support Node*), responsable de la entrega de paquetes de datos desde y hacia el Equipo de Usuario (UE, *User Equipment*) y se encarga del enrutamiento y transferencia de paquetes hacia el Controlador de la Red de Radio (RNC, *Radio Network Controller*), entre otras y el Nodo de Soporte de la Pasarela GPRS (GGSN, *Gateway GPRS Support Node*), que se encarga de la interconexión de las redes de datos externas con el SGSN mediante una interfaz IP. Este último tiene la función de convertir los paquetes provenientes del SGSN al formato apropiado como IP. También, almacena información del usuario para encapsular el tráfico de datos hacia el móvil.

La tecnología HSDPA introduce una nueva interfaz denominada,  $I_{u-PS}$ <sup>11</sup>. Hasta antes del *Release 5* la relación entre el RNC y el SGSN era jerárquica, es decir, que cada RNC era asignado a exactamente un SGSN y cada SGSN sirve a uno o más RNC's como se muestra en la Figura C.7. [7].



**Figura C.7.** Relación entre el RNC y el SGSN antes de HSDPA.

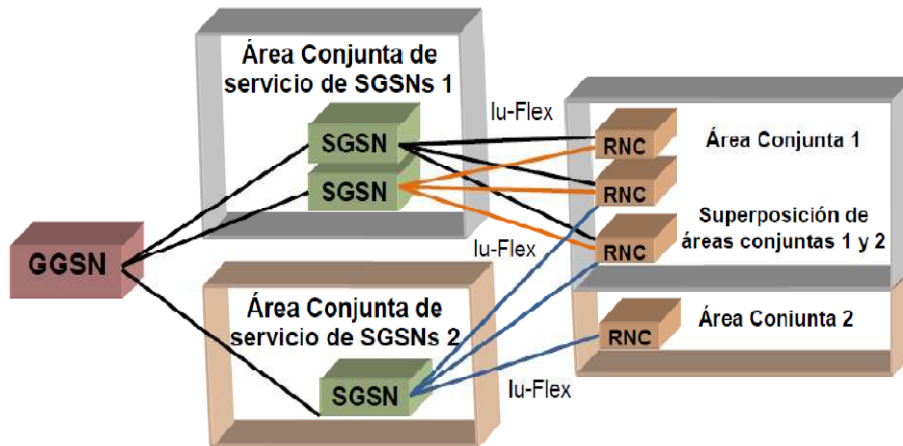
<sup>10</sup> Servicio General de Paquetes vía Radio (GPRS, *General Packet Radio Service*)

<sup>11</sup> Se mantendrá este tipo de letra para identificar las interfaces a lo largo del trabajo de grado.



La interfaz  $I_{u-Flex}$  permite establecer una relación de muchos a muchos entre RNCs y SGSNs, los cuales se agrupan, formando un área conjunta (*Pool Area*), que es atendida por uno o más SGSN en paralelo.

Todas las celdas controladas por un RNC pertenecen a la misma (o más) áreas conjuntas. El UE puede efectuar itinerancia dentro del área conjunta, sin necesidad de cambiar de SGSN, como se muestra en la Figura C.8. [7].



**Figura C.8.** Relación entre el RNC y el SGSN en HSDPA.

La interfaz  $I_{u-Flex}$  brinda capacidades como:

- Balanceo de carga entre SGSNs en un área común.
- Reducción de las reubicaciones del SGSN, reduciendo la señalización y el acceso al registro de localización de abonado (HLR<sup>12</sup>/HSS<sup>13</sup>).

La superposición de áreas conjuntas permite la asignación de patrones de movilidad en dichas áreas. Por ejemplo, las áreas conjuntas podrían cubrir determinadas zonas residenciales y superponerse en el centro de la ciudad.

### 3.2 RED DE ACCESO

La Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN, *UMTS Terrestrial Radio Access Network*), está conformada por el UE, el RNC y Nodos B, los cuales se interconectan por medio de las interfaces  $I_{ub}$  e  $I_{ur}$ , de la UTRAN. El RNC se conecta con el núcleo de red de la red por la interfaz  $I_{u-CS}$  ( $I_{u}$  *Circuit Switching*) a un MSC y por  $I_{u-PS}$  ( $I_{u}$  *Packet Switching*) a un SGSN. La interfaz  $I_{ur}$  entre las RNC es una interfaz lógica, lo que significa que no necesariamente existe una conexión física entre dos RNC.

En la Figura C.9. [8] se puede ver como se relacionan el UE, Nodo B y el RNC por medio de las interfaces. A esta sección de la arquitectura HSDPA se le denomina UTRAN.

<sup>12</sup> Un HLR (*Home Location Register*) es una base de datos de información de los usuarios y es un componente clave en las redes celulares.

<sup>13</sup> El HSS (*Home Subscriber Server*) es una base de datos que nace después del *release 5* del 3GPP y es básicamente la unión de la base de datos HLR y Centro de Autenticación (AuC, *Authentication Centre*) el cual contiene los parámetros de autenticación y de encriptación que verifican la identidad de los usuarios.

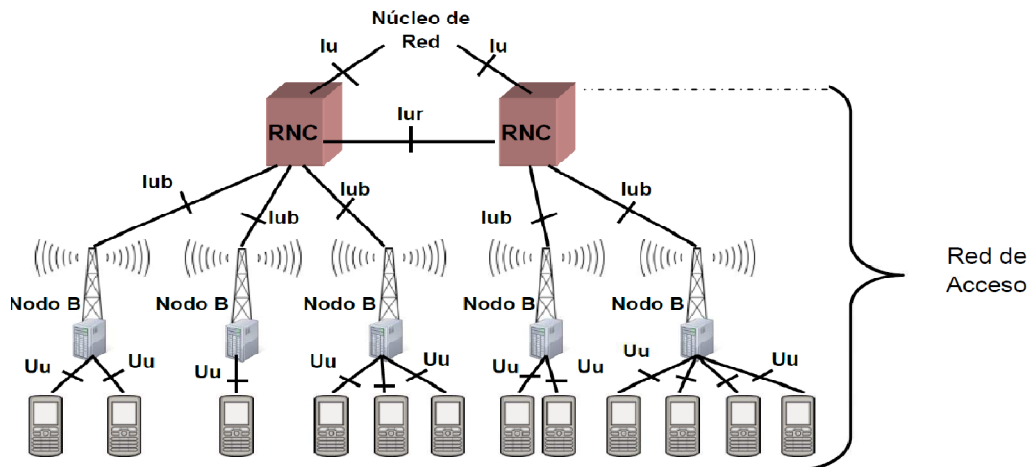


Figura C.9. Red de Acceso HSDPA.

- **RNC:** es el encargado de realizar el control de admisión, la reserva de recursos, y la asignación y manejo de los códigos OVFSF. Adicional a esto, se encarga del mapeo de los parámetros de la calidad de servicio y del control del traspaso de un equipo móvil de un Nodo B a otro, encaminando los paquetes de datos destinados para un UE particular al Nodo B apropiado.
- **Nodo B:** es el encargado de la conectividad vía radio entre el abonado y la red. Adicional a esto, ofrece el control de calidad que requieren los distintos servicios, realiza el control de carga y sobrecarga de datos y gestiona los tiempos y capacidades de cada uno de los usuarios.
- **UE o Equipo de Usuario:** es el encargado de establecer la comunicación entre el usuario y la estación base de la red móvil. Éste típicamente es una *laptop* con módem, *notebook*, *smartphone* o un teléfono 3G y se compone de:
  - **Modulo de Identidad de Subscriptor Universal (USIM, UMTS Subscriber Identity Module):** es la tarjeta, o chip, que representa inequívocamente a un abonado. Contiene información y procedimientos que permiten su identificación y autenticación en la red, además de información para el usuario, como por ejemplo, la agenda telefónica.
  - **Equipo de Usuario (UE, User Equipment):** es el equipo físico del que dispone el usuario. Contiene las aplicaciones y se encarga de establecer la comunicación de radio. Se subdivide en dos entidades:
    - **MT (Mobile Termination):** se encarga de la comunicación de radio.
    - **TE (Terminal Equipment):** contiene aplicaciones extremo a extremo.

En la Tabla C.1 [3] se presenta un resumen de las nuevas funcionalidades de los elementos de la UTRAN en HSDPA.

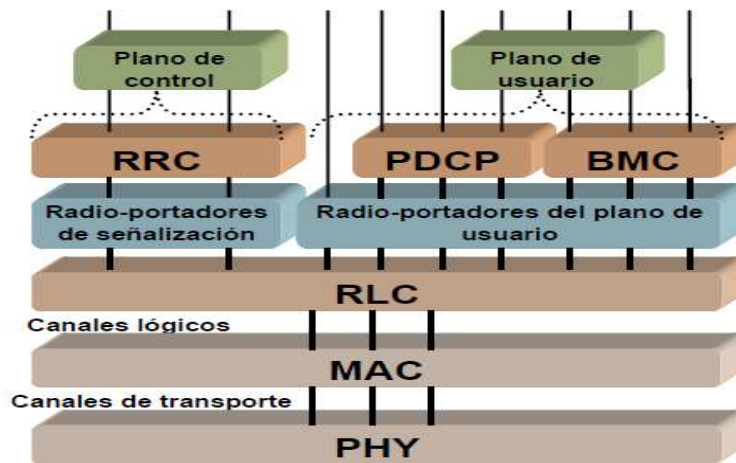


**Tabla C.1.** Nuevas Funcionalidades para HSDPA.

Elemento	Funcionalidad
RNC	Gestión de recursos radio (RRM)
	Gestión de movilidad (MM)
	Gestión del tráfico lub
	Manejo de grandes volúmenes de datos para el enlace de bajada
Nodo B	Almacenamiento de datos ( <i>buffering</i> )
	Manejo de ARQ
	Decodificación de realimentación ( <i>feedback</i> )
	Control de flujo
	Planificación de transmisiones para el enlace de bajada ( <i>scheduling</i> )
Terminal	Modulación 16 QAM
	Manejo de ARQ con almacenamiento bajo
	Generación y transmisión de la realimentación
	Demodulación 16 QAM

### 3.3 ARQUITECTURA DE PROTOCOLOS

La arquitectura de protocolos puede ser definida en los planos de usuario y de control. En la Figura C.10. [3] se muestran los distintos protocolos y el plano al que pertenece cada uno, éstos definidos para el *Release 99*, ya que en el plano de control no se presentan cambios significativos y los cambios en el plano de usuario se detallan más adelante.



**Figura C.10.** Arquitectura de Protocolos en UMTS.

- En el plano de control está el RRC, el cual se encarga de la señalización de la configuración de canales, gestión de la movilidad, etc.
- En el plano de usuario se encuentra el Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos (PDCP, *Packet Data Convergence Protocol*), encargado de comprimir el encabezado de los paquetes IP en dos a tres veces su tamaño original, reduciendo en gran medida los paquetes.





- El protocolo de control de difusión/Multidifusión (BMC, *Broadcast/Multicast Control*), tiene como función principal ordenar y transmitir los mensajes *broadcast* en una celda hacia un terminal.

El plano de control en HSDPA se mantiene similar al usado en WCDMA (UMTS), sin embargo se presentan cambios en el plano de usuario. En la Figura C.11. [3] se pueden apreciar las nuevas funcionalidades introducidas en el nodo B.

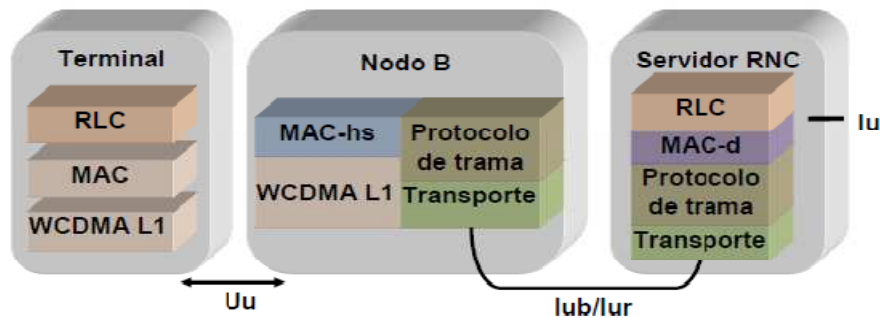


Figura C.11. Arquitectura de Protocolos de Usuario en HSDPA.

- **Control de Enlace Radio (RLC, *Radio Link Control*)**, maneja la segmentación y retransmisión de información de usuarios y control. Puede operar en 3 modos:
  - **Transparente:** cuando no se añade un encabezado por parte del nivel RLC. Esto no se aplica cuando se usan los canales de transporte de HSDPA.
  - **Modo sin confirmación:** cuando no existe la retransmisión por parte del nivel RLC. Se usa cuando las aplicaciones permiten tolerar la pérdida de algunos paquetes.
  - **Modo con confirmación:** cuando se asegura el envío de la información gracias a las retransmisiones por parte del nivel RLC.
- **Control de Acceso al Medio (MAC, *Medium Access Control*)**: se encarga del mapeo de los canales lógicos, manejo de las prioridades, selección de las velocidades de transmisión de datos que van a ser usadas y por último, del intercambio de canales de transporte. Está compuesto por el Control de Acceso al Medio de Alta Velocidad (MAC-hs, *High Speed-Medium Access Control*) y el Control de Acceso al Medio Dedicado (MAC-d, *Dedicated-Medium Access Control*).
  - **MAC-hs:** se encuentra ubicado en el nodo B y como se muestra en la Figura C.11. , mantiene todas las características del nivel MAC excepto la de intercambio de canales de transporte.
  - **MAC-d:** mantiene las funciones de intercambio de canales de transporte del nivel MAC original. Todas las demás funciones las realiza el nivel MAC-hs.



#### 4. ASPECTOS TECNICOS DE HSDPA

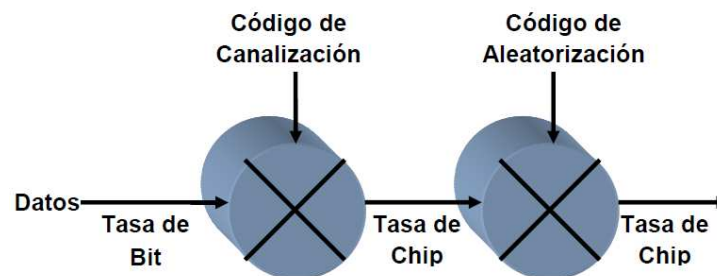
A continuación se describen los aspectos técnicos más relevantes en un proceso de migración a LTE.

##### 4.1. WCDMA

La tecnología HSDPA, hace uso del Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha (WCDMA), la cual es una tecnología de acceso al medio en la que los usuarios se distinguen entre sí por unas secuencias de códigos únicas para cada uno de ellos. Esto significa que todos los usuarios pueden transmitir al mismo tiempo, utilizando la misma frecuencia de portadora

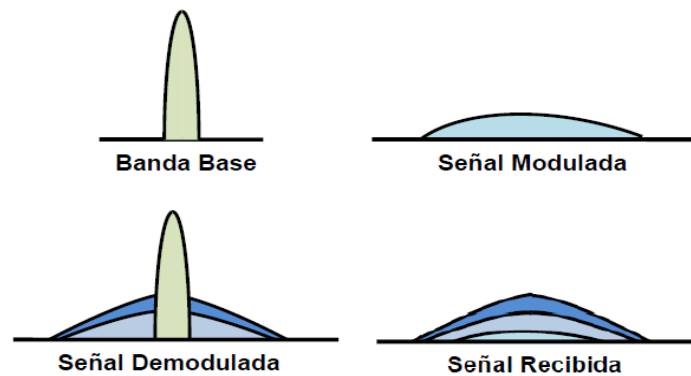
El funcionamiento de WCDMA se basa en la técnica de espectro ensanchado, en la cual la señal de información se dispersa sobre un ancho de banda mayor, por medio de la multiplicación en el dominio del tiempo de la señal de información por la secuencia de códigos pseudo-aleatoria, que como se dijo antes, es asignada a cada usuario [6].

WCDMA trabaja con un ancho de banda de 5 Mhz, el cual supera a los 1,25 Mhz del acceso múltiple por división de código (CDMA, *Code division multiple access*). CDMA, se basa en el uso de una secuencia pseudo aleatoria (*scrambling*) y códigos ortogonales o códigos OVSF [6].



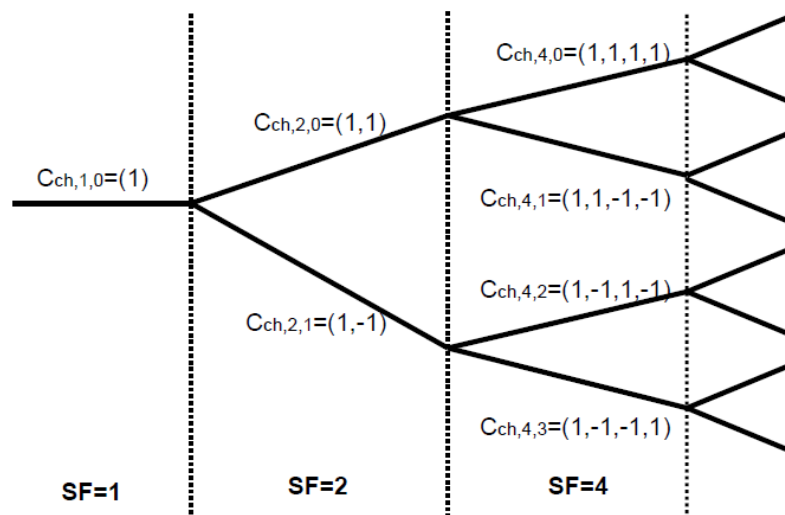
**Figura C.12.** Relación entre Aleatorización y Canalización.

El uso de los códigos ortogonales sirve para poder diferenciar a los usuarios, de esta forma, al juntar los usuarios, será posible la decodificación de cada uno de ellos según su código, como se puede ver en la Figura C.12. [6], donde se muestra además, cómo es que se usa el número de secuencia pseudo aleatoria para producir el ensanchamiento adicional de la señal hasta el nivel requerido, como se muestra en la Figura C.13. [6].



**Figura C.13.** Niveles de Potencia de la Señal.

El uso de los códigos OVSF no es ilimitado y está restringido por su árbol de códigos, como se puede ver en la Figura C.14. [6].



**Figura C.14.** Árbol Generador de los Códigos OVSF.

Cada uno de estos códigos no solo define a los usuarios sino que define también las tasas de transmisión a las que va operar el usuario. Mientras más reducido sea el código mayor será la tasa de transmisión de la que dispondrá el usuario. Cada uno de estos códigos se clasifica por su Spreading Factor (SF) o factor de dispersión. Es así que en HSDPA se trabaja, con canales compartidos de SF 16. Este valor es constante y no varía, como se hace en UMTS para los canales dedicados.



## 4.2. CANALES EN HSDPA

En la Figura C.15. [11] [12], se muestran los 3 tipos de canales que tiene HSDPA, encargados de transportar la información entre niveles, los canales lógicos, los canales de transporte y los canales físicos.



Figura C.15. Canales en HSDPA.

### 4.2.1. Canales Lógicos

Los canales lógicos se dividen en dos grupos, canales de tráfico y canales de control, los cuales se definen por el tipo de información que transfieren.

Los canales lógicos de tráfico (*TCH, Traffic Channel*) se encargan de la transferencia de la información relacionada con el plano de usuario. En la Tabla C.2 [12] [13] se resumen los canales de tráfico.

Tabla C.2. Canales de Tráfico.

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal de Tráfico Dedicado (DTCH, <i>Dedicated Traffic Channel</i> )	Bajada / Subida	Canal dedicado a un UE, por medio de una conexión punto a punto se transmite la información del usuario.
Canal de Tráfico Común (CTCH, <i>Common Traffic Channel</i> )	Bajada	Canal unidireccional de transferencia de información de usuario para todos o para un grupo de UEs específico, por medio de una conexión punto a multipunto.

Los canales lógicos de control se encargan de la transferencia de la información relacionada con el plano de control. En la Tabla C.3 [12] [13] se resumen los canales de control.



**Tabla C.3. Canales de Control.**

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal de Control de Difusión (BCCH, <i>Broadcast Control Channel</i> )	Bajada	Canal para la difusión del sistema de control de información.
Canal de Control de Notificación (PCCH, <i>Paging Control Channel</i> )	Bajada	Canal que transmite la información de <i>paging</i> , es empleado cuando el sistema no sabe en qué celda se encuentra ubicado el UE.
Canal de Control Común (CCCH, <i>Common Control Channel</i> )	Bajada / Subida	Canal empleado por los UEs cuando no tienen una conexión con la red, será usado cuando un UE este accediendo a una nueva celda o después de la re-selección de celda.
Canal de Control Dedicado (DCCH, <i>Dedicated Control Channel</i> )	Bajada / Subida	Canal empleado por UEs al establecer una conexión con la red, se transmite información de control dedicada en conexión punto a punto ( <i>point-to-point</i> ) entre el UE y La red.
Canal de Control de Canal Compartido (SHCCH, <i>Shared Channel Control Channel</i> )	Bajada / Subida	Canal bidireccional que transmite información de control para el enlace de subida y de bajada de canal compartido entre la red y los UEs. Sólo para el modo TDD.

#### 4.2.2. Canales de Transporte

Proporcionan los servicios de transferencia de datos entre el subnivel MAC y el nivel físico. Los canales de transporte se dividen en dos grupos: los canales dedicados y los canales comunes. En la Tabla C.4 [12] [13] [14] se resumen los canales de transporte dedicados.

**Tabla C.4. Canales de Transporte Dedicados.**

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal Dedicado (DCH, <i>Dedicated Channel</i> )	Bajada / Subida	Canal dedicado a un UE para transmisión de información de usuario, o datos de servicio y control de los niveles superiores.

En la Tabla C.5 [12] [13] [14] se resumen los canales de transporte comunes.



**Tabla C.5. Canales de Transporte Comunes.**

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal de Difusión (BCH, <i>Broadcast Channel</i> )	Bajada	Canal empleado para la difusión de la información del sistema en toda la celda.
Canal de Notificación (PCH, <i>Paging Channel</i> )	Bajada	Empleado para la difusión de información de control en toda la celda que permite eficacia de los procedimientos modo de pasivo UE.
Canal de Acceso hacia Adelante (FACH, <i>Forward Access Channel</i> )	Bajada	Canal de enlace de bajada común sin control de potencia de lazo cerrado utilizado para la transmisión de la cantidad relativamente pequeña de datos.
Canal Compartido de Enlace de Bajada (DSCH, <i>Downlink Shared Channel</i> )	Bajada	Canal empleado como canal de transporte en el enlace de bajada, compartido por varios UEs, dedicado a transportar datos de control o tráfico, se utiliza en modo TDD.
Canal Compartido de Enlace de Subida (USCH, <i>Uplink Shared Channel</i> )	Subida	Canal empleado como canal de transporte en el enlace de subida, compartido por varios UEs, dedicado a transportar datos de control o tráfico, se utiliza en modo TDD.
Canal Compartido de Enlace de Bajada de Alta Velocidad (HS-DSCH, <i>High Speed Downlink Shared Channel</i> )	Bajada	Un canal de enlace de bajada compartido entre UEs para la asignación de los códigos individuales, desde un grupo común de códigos asignados para el canal
Canal de Acceso Aleatorio (RACH, <i>Random Access Channel</i> )	Subida	Canal utilizado para la transmisión de cantidades relativamente pequeñas de datos, por ejemplo para el acceso inicial.

#### 4.2.3. Canales Físicos

El nivel físico codifica los canales de transporte en canales físicos y son transmitidos por radio frecuencia. Los canales físicos se resumen en la Tabla C.6 [12] [13] [14].

**Tabla C.6. Canales Físicos.**

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal Físico Dedicado en el Enlace de Bajada (PDCH, <i>Physical Downlink Dedicated Channel</i> )	Bajada	Canal encargado de transportar los datos dedicados generados en el nivel 2 y superiores, es decir, del canal de transporte dedicado (DCH), se transmite con la información de control generada en el nivel 1.
Canal Físico Primario de Control Común (P-CCPCH, <i>Primary Common Control Physical Channel</i> )	Bajada	El bloque de transporte BCH se mapea en este canal.
Canal Físico Secundario de Control Común (S-CCPCH, <i>Secondary Common Control</i> )	Bajada	Canal usado para llevar el FACH y el PCH; en especial para el modo TDD el PCH y el FACH son mapeados en uno o más S-CCPCH. De esta manera



<i>Physical Channel)</i>		la capacidad del PCH y el FACH se puede adaptar a los diferentes requerimientos.
Canal de Indicador de Notificación (PICH, <i>The Paging Indicator Channel</i> )	Bajada	Canal utilizado para llevar los indicadores de notificación. El PICH es siempre asociado con un S-CCPCH al cual un canal de transporte (PCH) es mapeado.
Canal Compartido de Control para HS-DSCH (HS-SCCH, <i>Shared Control Channel for HS-DSCH</i> )	Bajada	Canal utilizado para llevar señalización del enlace de bajada relativa a la transmisión del HS-DSCH e información de control de los niveles superiores para el HS-DSCH.
Canal Físico Compartido de Enlace de Bajada de Alta Velocidad (HS-PDSCH, <i>High Speed Physical Downlink Shared Channel</i> )	Bajada	Canal usado para llevar el HS-DSCH, y este puede ser mapeado en uno o más HS-PDSCH. HS-PDSCH permite usar modulación QPSK o 16 QAM y toda la información relevante de nivel 1 es transmitida en el HS-SCCH, es decir el HS-PDSCH no lleva ninguna información de este nivel.
Canal Físico para el Acceso Aleatorio (PRACH, <i>Physical Random Access Channel</i> )	Bajada	El RACH es mapeado en uno o más PRACH. De esta manera la capacidad de RACH puede escalar de forma flexible en función de la necesidad de los operadores.
Canal de Sincronización (FDD y TDD opción 3,84) (SCH, <i>The Synchronisation Channel</i> )	Bajada	Canal usado para la búsqueda de celda. Tiene dos sub-canales con sus códigos, el código primario de sincronización (PSC) se transmite en cada slot y el secundario (SSC) se transmite en paralelo con el SCH primario.
Canales de Sincronización (TDD opción 1,28) (DwPCH y UpPCH, <i>The synchronisation Channel</i> )	Bajada / Subida	El DwPCH es usado para sincronización de enlace de bajada y el UpPCH es usado para la sincronización del enlace de subida.
Canal Físico Común en el enlace de subida (TDD) (PUSCH, <i>Physical Uplink Shared Channel</i> )	Subida	El USCH es mapeado a uno o varios PUSCH. El PUSCH provee la posibilidad de transmisión de TFCI, SS, y TPC en el enlace de subida.
Canal Físico Común en el Enlace de Bajada (TDD) (PDSCH, <i>Physical Downlink Shared Channel</i> )	Bajada	El DSCH es mapeado a uno o varios PDSCH. El PDSCH provee la posibilidad de transmisión de TFCI, SS, y TPC en el enlace de bajada.
Canal de Información Común para HS-DSCH (TDD) (HS-SICH, <i>Shared Information Channel for HS-DSCH</i> )	Subida	Canal usado para llevar información de control de los niveles superiores y el indicador de calidad de canal (CQI) para HS-DSCH.



#### 4.2.4. Mapeo de Canales

En la Figura C.16. [13] [14], se muestra un esquema del mapeo de los canales lógicos a los de transporte y de éstos a los físicos. Este mapeo es realizado por cada una de los niveles involucrados en el establecimiento de una conexión con el sistema.

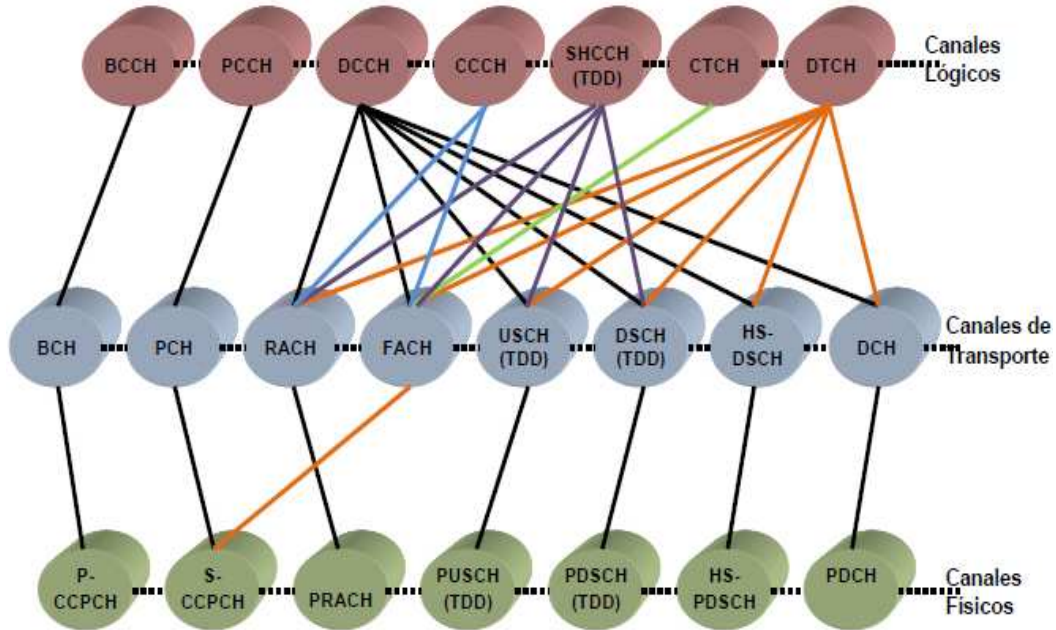


Figura C.16. Manejo de los Canales en HSDPA.

#### 4.2.5. Bandas de Espectro Radioeléctrico

En la Tabla C.7 [15] [16] se presentan las bandas disponibles para HSDPA definidas por el 3GPP para los modos FDD y TDD.





**Tabla C.7.** Bandas de Espectro Radioeléctrico.

Banda de Operación UTRA	Banda de Operación de Enlace de Subida Estación Base Recibe de Usuario Transmite Equipo		Banda de Operación de Enlace de Bajada Estación Base Transmite Equipo de Usuario Recibe		Modo Dúplex
	Banda Inferior		Banda Superior		
I	1920 MHz	– 1980 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
II	1850 MHz	– 1910 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	FDD
III	1710 MHz	– 1785 MHz	1805 MHz	– 1880 MHz	FDD
...					
a	1900 MHz – 1920 MHz				TDD
a	2010 MHz – 2025 MHz				TDD
b	1850 MHz – 1910 MHz				TDD
b	1930 MHz – 1990 MHz				TDD
c	1910 MHz – 1930 MHz				TDD

Además de estas bandas, al migrar de HSDPA a LTE los operadores tendrán mayores alternativas de bandas de operación gracias a que a partir del *Release 5* han sido agregadas 12 nuevas bandas de operación en el modo FDD y 3 más en el modo TDD, las cuales se expondrán en el ANEXO D dedicado a LTE.

En este anexo se presentó una revisión de los conceptos más importantes de HSDPA que deben ser tenidos en cuenta para un proceso de migración a LTE, dentro de los cuales se encuentran: las bandas de frecuencia, la arquitectura del sistema y los cambios que se presentan es ésta, así como aspectos técnicos relevantes tales como la técnica de acceso al medio. Lo anterior, con el propósito de consolidar o brindar la base teórica al lector para un mejor entendimiento de las comparaciones de HSDPA con la tecnología LTE, cómo se consiguen las mejoras que esta tecnología ofrece (detalladas en el capítulo 2) y las estrategias y procedimientos de migración (presentadas en el capítulo 3).



## ANEXO D. EVOLUCIÓN A LARGO PLAZO.

En el presente anexo se realiza una revisión de los aspectos más importantes de la tecnología de Evolución a Largo Plazo (LTE, *Long Term Evolution*), que se consideran en el proceso de migración hacia ella.

### 1. GENERALIDADES

LTE es un estándar del 3GPP especificado a partir del *Release 8*, se considera el siguiente paso en el camino de evolución después de HSPA + (*Release 7*), como se muestra en la Figura D.1 [17]. Aparece debido a la necesidad de mejorar características como: velocidades de transmisión de datos, calidad de servicio, reducción de Costos Operacionales (OPEX, *Operating Expenditures*) y complejidad de la red [18].

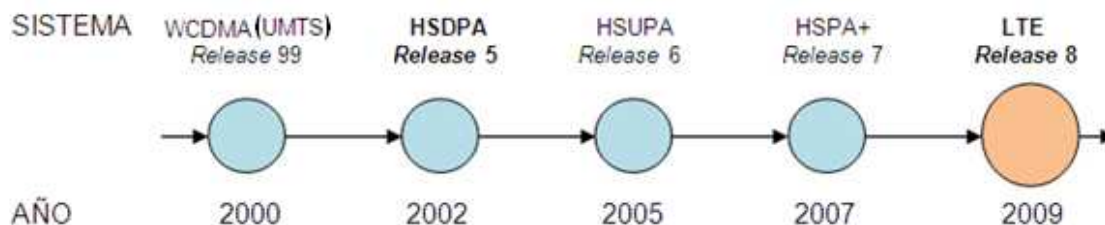


Figura D.1. Camino de Evolución del 3GPP.

LTE se fundamenta en la utilización del esquema de multiplexación OFDMA en el enlace de bajada y el Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Única Portadora (SC-FDMA, *Single Carrier Frequency Division Multiple Access*) en el enlace de subida, mejorando la eficiencia espectral obtenida por las redes 3G [19], generando así las condiciones adecuadas para soportar una mayor cantidad de servicios en un determinado ancho de banda, permitiendo brindar más y mejores servicios de banda ancha, tales como: internet móvil de alta velocidad, televisión móvil de alta definición, video por demanda y video conferencia, entre otros. La utilización de dichos esquemas de multiplexación, permite crear un sistema robusto frente a fenómenos como: Interferencia Inter-Simbólica (ISI, *Intersymbol Interference*) y el Desvanecimiento Selectivo en Frecuencia (FSF, *Frequency-Selective Fading*) [19], además, en el enlace de subida se mejora la eficiencia en el consumo de energía, permitiendo una mayor duración de la batería de los terminales.

Por otra parte, se destaca la utilización del sistema MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), para aumentar el *throughput*, mientras se preserva el ancho de banda [18]. LTE es una tecnología basada totalmente en la conmutación de paquetes (*All-IP*), lo que impulsó por parte del 3GPP, estudios dentro del estándar que consolidaran la forma de trabajar con tecnologías antecesoras tales como GSM y WCDMA (UMTS) sin mayores inconvenientes [18].

La implementación de LTE proporciona flexibilidad en la asignación de ancho de banda y permite la utilización de los modos FDD y TDD, consiguiendo adaptarse a diferentes bandas que pueden ser asignadas para la prestación de servicios de banda ancha móvil. El objetivo del 3GPP con LTE es lograr velocidades de transmisión de datos para los



suscriptores móviles, del orden de los 100 Mbps en el enlace de bajada y 50 Mbps en el enlace de subida sobre canales de 20 MHz, además se plantea la reducción de la latencia a 10 ms en todo el sistema (acceso radio, núcleo de red y equipos de usuario) cuando la red logre un pleno desarrollo [18].

## 2. ARQUITECTURA DEL SISTEMA EVOLUCIONADO DE PAQUETES

La Arquitectura del Sistema Evolucionado de Paquetes (EPS, *Evolved Packet System*) está compuesta por: el Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC, *Evolved Packet Core*) y la Red de Acceso Radio Terrestre UMTS Evolucionada (E-UTRAN, *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*), estas entidades se comunican a través de la interfaz S1 como se muestra en la Figura D.2 [20].



Figura D.2. Arquitectura General EPS.

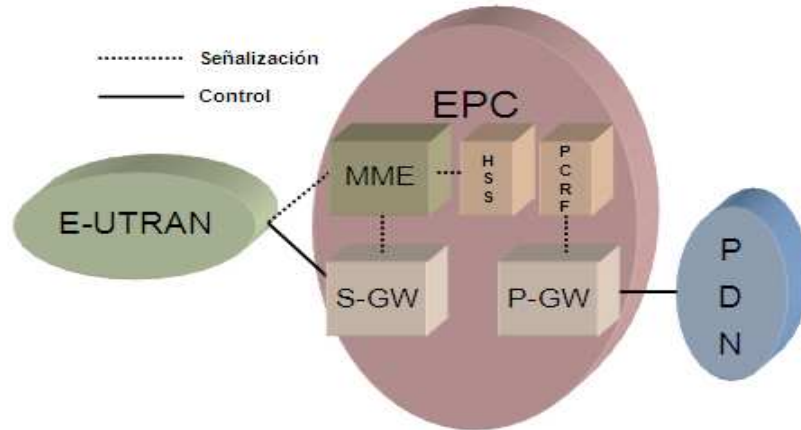
### 2.1. NÚCLEO DE PAQUETES EVOLUCIONADO

El EPC o núcleo de la red, se implementa en un sistema de telecomunicaciones con el objetivo de brindar soporte a los servicios extremo a extremo (*end to end*), ofreciendo una mejor experiencia de los usuarios en la red, aumentando la velocidad efectiva de comunicación de datos (*throughput*), reducción en la latencia, uso eficiente de los recursos de la red, movilidad simplificada entre las redes 3GPP y No-3GPP, además se implementa una serie de funciones de red que acercan la tecnología al concepto de arquitectura plana (*Flat Architecture*) y se disminuye el número de nodos en la red, obteniendo una reducción en el OPEX Y CAPEX al igual que el costo total por megabyte de tráfico [21].

La arquitectura del EPC mostrada en la Figura D.3 [20] [22] es muy similar conceptualmente a la presentada por HSDPA, debido a que ambas tecnologías se basan



en la utilización del protocolo IP y hacen uso del protocolo GTP (GPRS *Tunneling Protocol*<sup>14</sup>) para re-direccionar el tráfico a medida que un UE se mueve a través la red<sup>15</sup>.



**Figura D.3.** Arquitectura General EPC.

### 2.1.1. Entidad de Gestión de la Movilidad

La Entidad de Gestión de Movilidad (MME, *Mobility Management Entity*) se define dentro de la arquitectura del sistema como un nodo que realiza las funciones de señalización del núcleo de red [21], además, gestiona la movilidad de los equipos de usuario. Un equipo de usuario permanecerá atendido por una misma MME siempre y cuando éste se movilice en una misma área conjunta.

### 2.1.2. Pasarela de Red de Paquetes de Datos / Servicios

La Pasarela de Red de Paquetes de Datos / Servicios (P/S-GW, *Packet/Serving Gateway*) se define dentro de la arquitectura del sistema como un nodo que proporciona el punto de anclaje cuando un UE se encuentra en movimiento entre Nodos B evolucionados (eNBs, *Evolved Node B*). La S-GW será la misma mientras el UE se mueva dentro de una área conjunta, por su parte la P-GW se mantiene igual durante el tiempo que el UE se encuentre conectado a la red.

La funcionalidad de esta entidad es conceptualmente comparable con la entidad GGSN en las actuales redes 3G [25], agregando algunas funciones, principalmente la adición de almacenamiento de datos para el soporte de paquetes durante la notificación (*paging*)<sup>16</sup> del E-UTRAN y el soporte para redes de acceso radio No-3GPP. Esta entidad brinda una interfaz hacia otras redes (por ejemplo, internet) [26].

<sup>14</sup> Protocolo encargado de establecer una conexión entre un UE y el núcleo de red para la transferencia de datos [23] [24].

<sup>15</sup> Para más información remitirse a la sección 2.1.3.

<sup>16</sup> Esta función proporciona la capacidad de realizar una notificación a un UE que se encuentra en estado *idle* para que contacte a la EUTRAN [27].



### 2.1.3. Agrupación de Nodos MME y S-GW

Es posible agrupar un conjunto de nodos MME y S-GW con el objetivo de eliminar el riesgo de interrupción del servicio en algunas partes de la red el cual puede ser causado por la falla de alguno de estos nodos. Esto se logra con la implementación de una interfaz de varios-a-varios entre los eNBs y nodos EPC donde cada eNB es asociado a un conjunto MME y S-GW. Independiente del área conjunta por la cual esté siendo soportado el UE, la S-GW no puede ser cambiada sin la participación del MME.

Un operador puede implementar un grupo de nodos MME y S-GW o varios grupos dependiendo de la organización y de los requerimientos necesarios de la red, estos grupos no deben ser ubicados necesariamente en un mismo sitio físico ya que se pueden distribuir a lo largo de toda la red asumiendo que estos se interconectan por medio de interfaces S5 y S10 como se muestra en la Figura D.4 [22].

Cuando un UE se conecta a la red, se asigna a una de las MME que pertenecen al grupo de MMEs asociadas con el eNB, luego el MME asigna una S-GW dentro del grupo de S-GWs. Mientras el UE se mueva dentro de los eNBs pertenecientes a la misma área conjunta del MME o S-GW no será necesario un cambio de entidades, de lo contrario se le re-asignará a una nueva MME o S-GW asociada al eNB.

Cuando ocurre una nueva asignación de S-GW, no sufre ningún cambio la P-GW y por lo tanto tampoco se produce ningún cambio en el Punto de Presencia IP (IP PoP, *Point of Presence IP*), el principal objetivo de la S-GW es actuar como un punto de anclaje local y cumplir con la función de almacenamiento de paquetes durante ocurre el proceso de notificación [22].

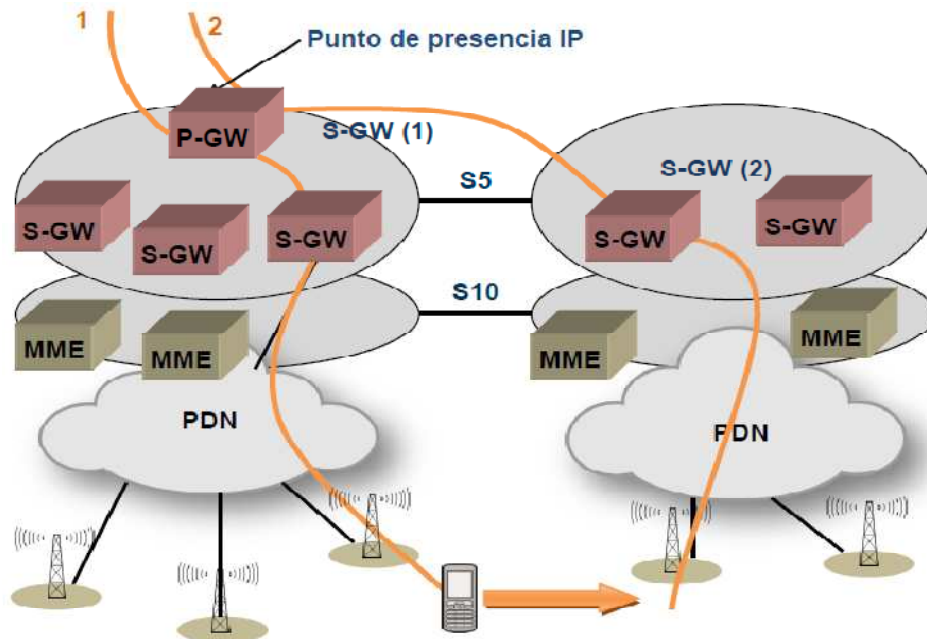


Figura D.4. Movilidad Inter Área Conjunta.



## 2.2. RED DE ACCESO RADIO TERRESTRE UMTS EVOLUCIONADA

La E-UTRAN se define como la red de acceso radio, encargada de soportar funciones para los UEs, además de mejorar características como: reducción del número de canales de transporte, eliminación de los canales dedicados e implementación de canales compartidos, lo que lleva a eliminar la necesidad de traspaso suave en el camino evolutivo de la UTRAN<sup>17</sup>. La arquitectura E-UTRAN, como se muestra en la Figura D.5 [21], se compone de varios eNBs que brindan el Control de Recursos Radio (RRC, *Radio Resource Control*), hacia el móvil. Los eNBs se comunican a través de la interfaz S1 con el núcleo (MME / S-GW) y entre ellos, a través de la interfaz X2.

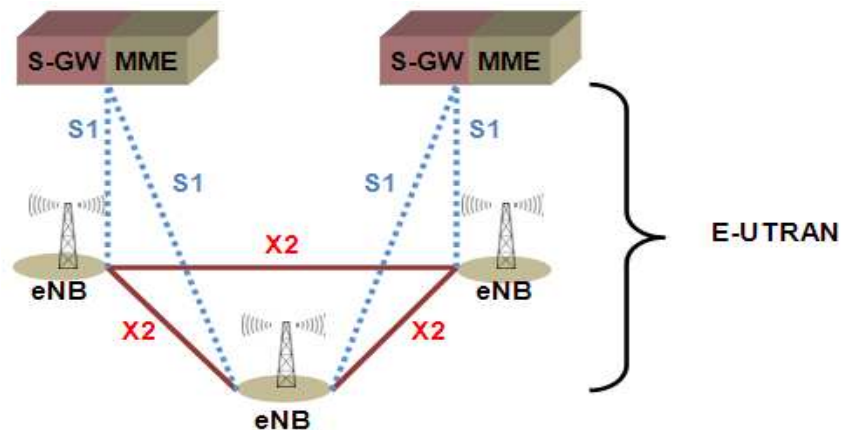


Figura D.5. Arquitectura General de la E-UTRAN.

## 3. ASPECTOS TÉCNICOS

### 3.1 OFDM

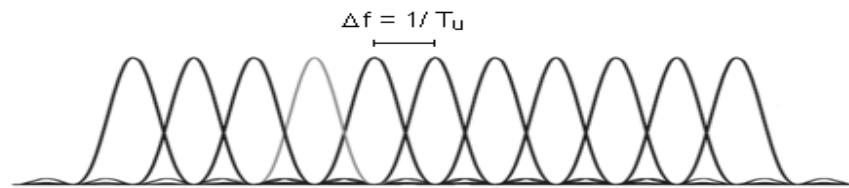
La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) es un esquema de multiplexación fundamentado en la Multiplexación por División de Frecuencia (FDM, *Frequency Division Multiplexing*) aprobada por el 3GPP como esquema para la transmisión en LTE [28].

OFDM hace que el flujo principal de datos sea dividido en N flujos de información, estos son mapeados a igual número de sub-portadoras que coexisten en el mismo instante de tiempo gracias a la ortogonalidad que guardan entre sí [29]; las sub-portadoras tienen la característica de viajar por el medio traslapándose entre ellas sin generar interferencia al momento de ser recibidas, permitiendo que no sea necesario implementar bandas de guarda que inutilizan el espectro radioeléctrico asignado. Como se muestra en la Figura D.6 [19], la ortogonalidad requiere que las sub-portadoras se encuentren espaciadas una cantidad  $\Delta f$  definida por la ecuación (1.1), donde  $T_U$  [s] es el tiempo que dura cada símbolo de datos.

<sup>17</sup> Luego del estudio realizado por el 3GPP en sus Reportes Técnicos TR25813, TR25912, TR25913, se concluye la eliminación del proceso de traspaso suave sobre EUTRAN [18].

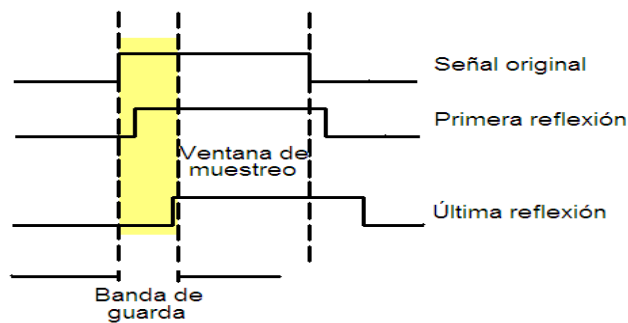


$$\Delta f = 1 / T_U \text{ [Hz]} \quad (1.1)$$



**Figura D.6.** Desviación de Portadoras OFDM.

Bajo este principio, OFDM permite ofrecer mejor eficiencia espectral comparada con técnicas más simples que son utilizadas en transmisiones tradicionales. OFDM transmite los datos de tal manera que al dividirse la información, a cada una de las sub-portadoras se mapea una parte de la carga útil, lo que implica que la velocidad de transmisión de datos en cada una de las sub-portadoras disminuya o el tiempo de duración de cada uno de los símbolos aumente, ayudando a reducir la ISI, además, con la implementación de una banda de guarda en el dominio del tiempo como se muestra en la Figura D.7 [29] se garantiza un período en el cual el sistema permite realizar la captura de la información proveniente de múltiples trayectorias, logrando así, disminuir el desvanecimiento por multi trayectoria.



**Figura D.7.** Banda de Guarda en OFDM.

El sincronismo es uno de los factores más relevantes para el funcionamiento de OFDM, si este falla en la frecuencia o en el tiempo, la ortogonalidad de las sub-portadoras se ve afectada debido al traslape que aparece entre ellas, esto se conoce como Interferencia Inter-Portadora (ICI, *Inter-Carrier Interference*). Además, OFDM tiene problemas relacionados a la no linealidad de los amplificadores de potencia, esto debido a la alta Relación de Potencia Media a Pico (PAPR, *Peak-to-Average Power Ratio*) de la modulación en el dominio del tiempo, haciendo necesario el uso de un Amplificador de Alta Potencia (HPA, *High Power Amplifier*), lo cual lleva a aumentar el consumo de energía del sistema para no tener distorsión en las señales.



### 3.2 OFDMA

OFDMA es el esquema de multiplexación utilizado por LTE en el enlace de bajada [28] [29]. Es una versión multi-usuario de OFDM mejorando algunas de sus características. En la Figura D.8(a) [29] se muestra como OFDM asigna cada una de las sub-portadoras a un grupo de usuarios por un periodo de tiempo indefinido, a partir de esto, OFDMA logra el acceso múltiple realizando asignación de sub-portadoras OFDM a distintos usuarios. En la Figura D.8(b) [29], se muestra como OFDMA le asigna a un usuario un determinado número de sub-portadoras para soportar su servicio y las libera cuando no estén siendo utilizadas. Esta flexibilidad en la asignación de recursos permite el desarrollo de algoritmos más eficientes y equitativos consiguiendo así reducir la interferencia y el consumo de energía<sup>18</sup>.

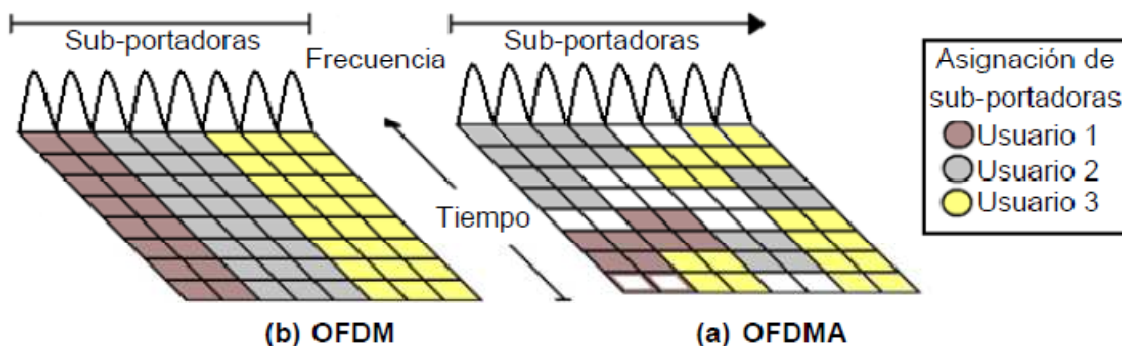


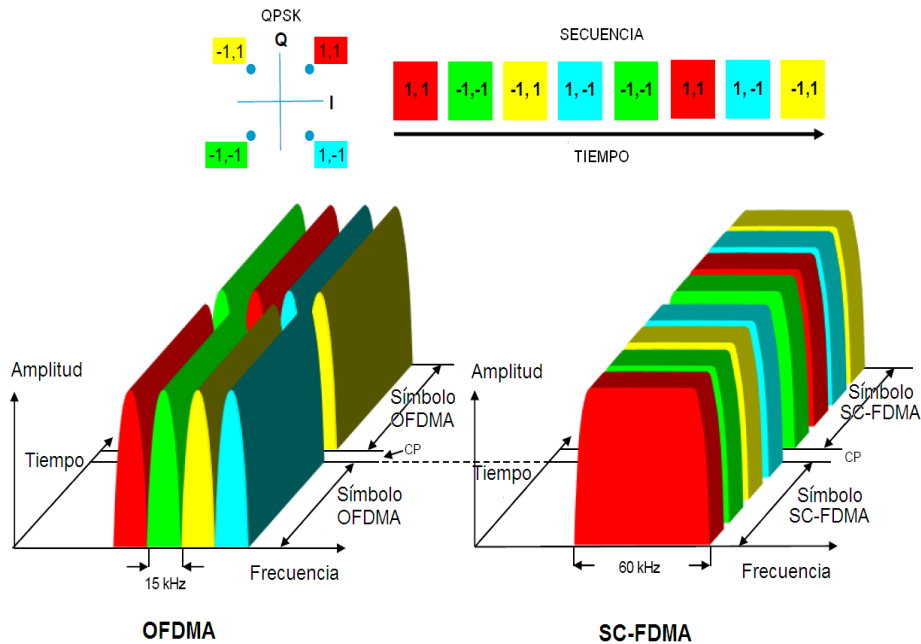
Figura D.8. Asignación de Sub-portadoras en OFDM y OFDMA.

### 3.3 SC-FDMA

Esta técnica de acceso es utilizada por LTE en el enlace de subida [29] [30]. A diferencia de OFDMA, esta ofrece un menor consumo de energía en los terminales logrado gracias a que cada símbolo de datos es mapeado a una única portadora, mientras que en OFDMA los símbolos son mapeados en paralelo a varias sub-portadoras simultáneamente, es decir, SC-FDMA finalmente transmite una única portadora mientras que en OFDMA transmite múltiples portadoras en un mismo instante de tiempo. En la Figura D.9 [30], se muestra una secuencia de ocho símbolos QPSK los cuales serán mapeados a 4 sub-portadoras. En este caso, OFDMA toma un grupo de cuatro símbolos en paralelo, cada uno es mapeado a una sub-portadora durante un periodo de símbolo OFDMA, mientras que SC-FDMA, toma cada uno de los 4 símbolos y los mapea de forma secuencial durante el mismo periodo de símbolo (conocido en este caso como símbolo SC-FDMA). En seguida de cada símbolo se utiliza una banda de guarda o Prefijo Cíclico (CP) como se menciona en la sección anterior.

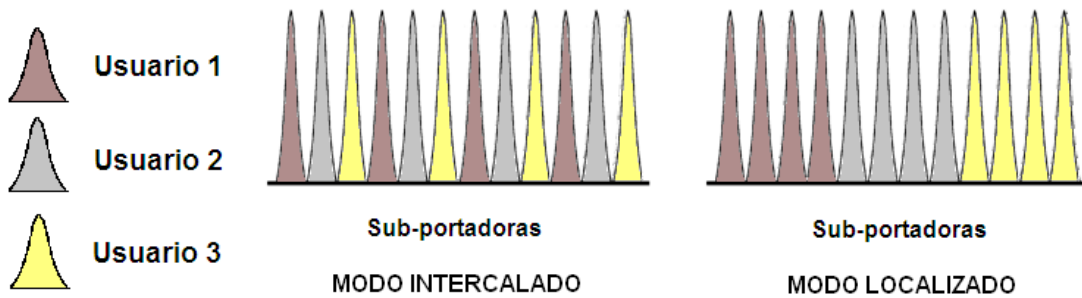
<sup>18</sup> Para conocer más información acerca de los conceptos básicos de esta tecnología aplicada sobre LTE, remitirse a la sección 3.5.





**Figura D.9.** Asignación de Sub-portadoras en OFDMA y SC-FDMA.

Para SC-FDMA existen dos métodos de asignación de sub-portadoras para múltiples usuarios: modo Localizado (LFDMA, *Localized FDMA*) y modo Intercalado (IFDMA, *Interleaved FDMA*), estos modos se muestran en la Figura D.10 [29], donde el 3GPP ha propuesto el uso del modo intercalado para LTE, debido al bajo consumo de energía que ofrece al asignar sub-portadoras agrupadas<sup>19</sup>.



**Figura D.10.** Asignación de Sub-Portadoras en SC-FDMA.

<sup>19</sup> Para conocer más información acerca de los conceptos básicos de esta tecnología aplicados sobre LTE, remitirse a la sección 3.5.



### 3.4 MIMO

Los sistemas móviles celulares afrontan en la actualidad, fenómenos como: limitación en la asignación del espectro radioeléctrico, problemas en el canal de transmisión debido a la propagación por múltiples trayectorias, necesidad de aumento en la calidad, cobertura y disponibilidad. Características que impulsaron el desarrollo de MIMO, una de las tecnologías más destacadas en el aumento de la eficiencia espectral, gracias a la implementación de múltiples antenas y sin la necesidad de incrementar el ancho de banda disponible o la potencia de transmisión [28]. MIMO se basa en la transmisión simultánea de información por varias trayectorias soportadas por el uso de múltiples antenas en transmisión y recepción.

Existen tres posibles configuraciones de antenas<sup>20</sup>: SIMO, MISO y MIMO, dentro de las que se destaca la última, gracias al incremento lineal de la capacidad de canal en relación al aumento del número de antenas implementadas en el sistema [31]. Además, existen opciones de MIMO<sup>21</sup> enfocadas en mejorar características como la reducción de la Tasa de Error de Bit (BER, *Bit Error Rate*) y el aumento de la eficiencia espectral.

Un sistema básico de MIMO se compone por  $M$  y  $N$  antenas transmisoras y receptoras respectivamente, consiguiendo establecer  $M \times N$  canales de transmisión como se muestra en la Figura D.11 (dependiendo de las condiciones de propagación y la separación de las antenas se logra definir un número aproximado de canales no correlacionados) [30]. Las antenas reciben la suma de los flujos de información enviados directamente a ellas y los flujos de información indirectos enviados a otras antenas.

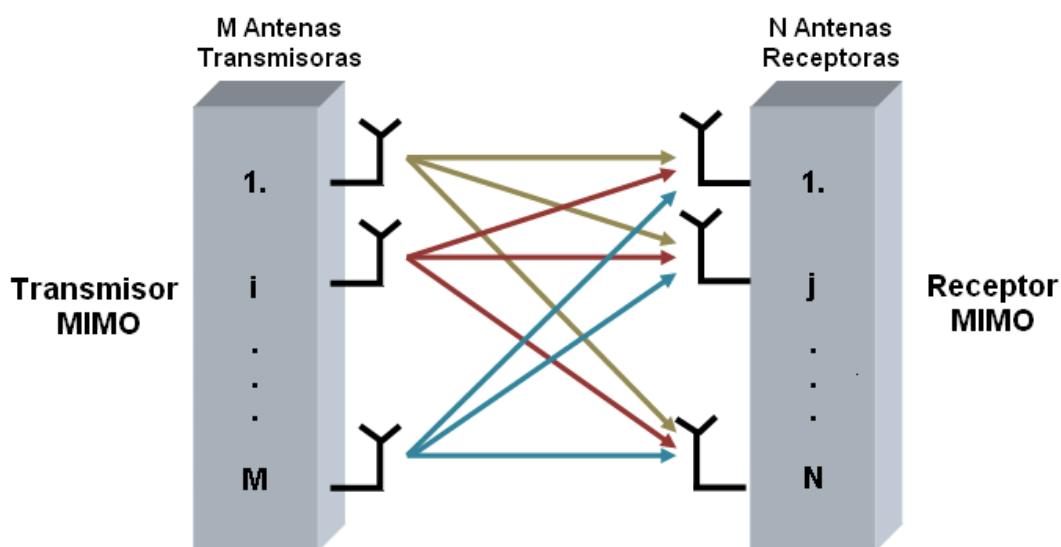


Figura D.11. Esquema Típico de un Sistema MIMO.

<sup>20</sup> Sin decir que sean MIMO.

<sup>21</sup> Existe un tercer tipo de MIMO, denominado Enlace MIMO colaborativo en el enlace de subida [30].



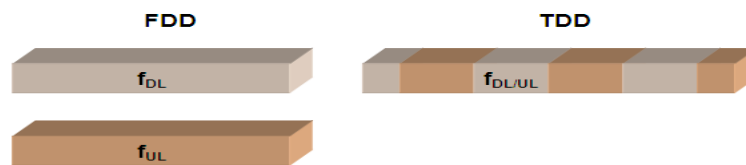
Al utilizar la tecnología MIMO, se incrementa la velocidad de transmisión de datos del sistema, lo cual es idóneo para servicios como VoIP y *streaming* de vídeo. Por esto, se considera que la implementación de múltiples antenas es necesaria en las comunicaciones inalámbricas de la actualidad gracias a que permite ofrecer mejores capacidades de transmisión [32].

### 3.5 NIVEL FÍSICO

Este nivel principalmente se dedica a realizar procesos de codificación, modulación y mapeo de señales, controlado dinámicamente por el sub-nivel MAC [9]. Existen varios procedimientos del nivel físico involucrados directamente con la operación de LTE, algunos de estos son:

- Búsqueda de Celda.
- Control de Potencia.
- Sincronización y control de tiempo en el enlace de subida.
- Procesos relacionados con el Acceso Aleatorio.
- Procesos relacionados con HARQ.

Uno de los principales requerimientos en LTE, es la capacidad de soportar los modos TDD y FDD, lo que implica que en los enlaces de subida y bajada se utilizan diferentes ranuras de tiempo en el modo TDD, mientras que para el modo FDD, éstos utilizan bandas de frecuencia separadas como lo muestra la Figura D.12 [9], así, TDD opera en espectro impar mientras que FDD lo hace en espectro par.



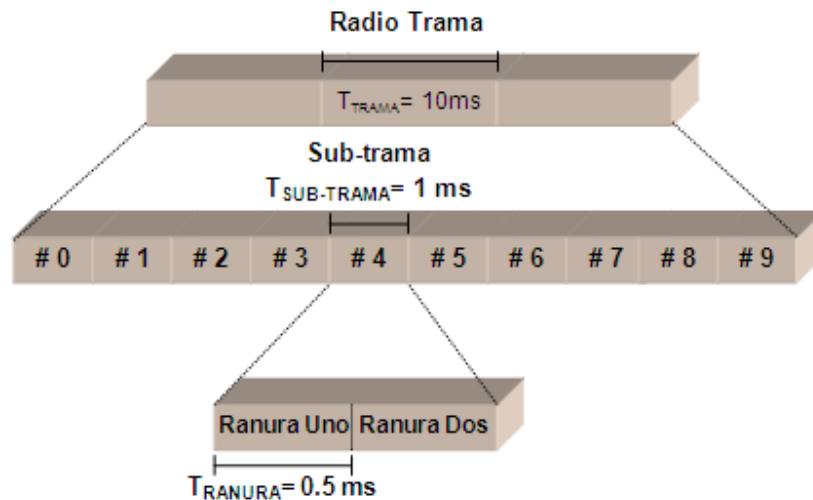
**Figura D.12.** Esquemas Dúplex Basados en FDD y TDD.

El soporte de TDD y FDD se consigue con dos estructuras de trama muy similares: la trama tipo uno para FDD y la trama tipo dos para TDD, las diferencias en la estructura de la trama y el mapeo de algunas señales físicas no afectan el proceso general del nivel (ejemplo: modulación, codificación y sistemas multi-antena) el cual es idéntico para los dos modos [9].



### 3.5.1. Estructura de Trama Tipo Uno para LTE FDD

En los enlaces de bajada y subida se utiliza la estructura de trama tipo uno para el modo FDD, donde su duración es  $T_{\text{TRAMA}} = 10\text{ms}$ , luego, cada trama se divide en 10 sub-tramas de igual duración con un tiempo  $T_{\text{SUB-TRAMA}} = 1\text{ms}$ , finalmente cada nueva sub-trama se divide en dos ranuras de igual tamaño de tiempo  $T_{\text{RANURA}} = 0,5\text{ms}$ . El esquema del proceso descrito se muestra en la Figura D.13 [33].



**Figura D.13.** Estructura de una Trama en el Dominio del Tiempo (Modo FDD).

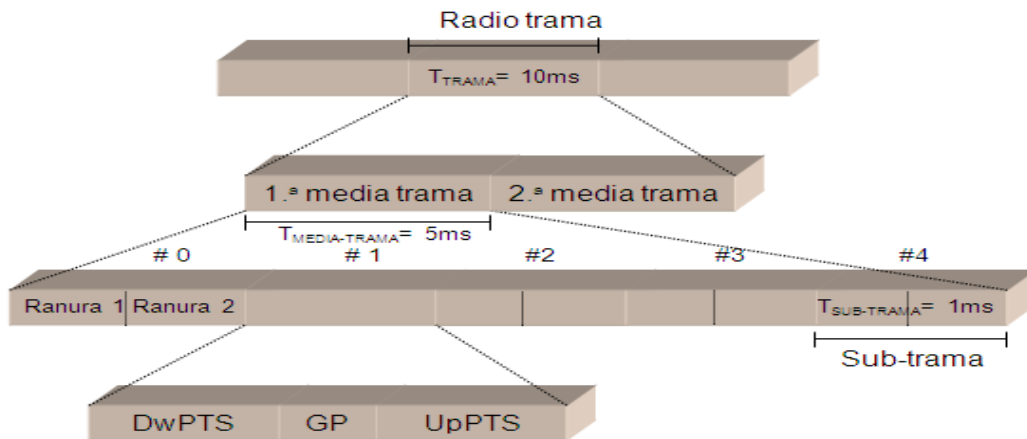
Con el objetivo de asegurar consistencia y exactitud en las definiciones de los tiempos, se define una unidad básica ( $T_S = 1/30720000$ ) donde diferentes intervalos de tiempo pueden expresarse como múltiplos de ésta (ejemplo,  $T_{\text{TRAMA}} = 307000 \cdot T_S$ ,  $T_{\text{SUB-TRAMA}} = 30720 \cdot T_S$ ,  $T_{\text{RANURA}} = 1530 \cdot T_S$ ) [33].

### 3.5.2. Estructura de Trama Tipo Dos para LTE TDD

Como se muestra en la Figura D.14 [33], la estructura de trama en el modo TDD es muy similar a la del modo FDD con algunas excepciones:

- La trama de longitud  $T_{\text{TRAMA}}$  se divide en dos partes de igual tamaño, cada una de longitud 5ms (Media-trama) y éstas se dividen en cinco sub-tramas de longitud 1ms cada una.
- La segunda sub-trama dentro de cada media trama está formada por una estructura especial que consiste en una parte dedicada al enlace de bajada (DwPTS), un periodo de guarda (GP) y una parte dedicada al enlace de subida (UpPTS).<sup>22</sup>

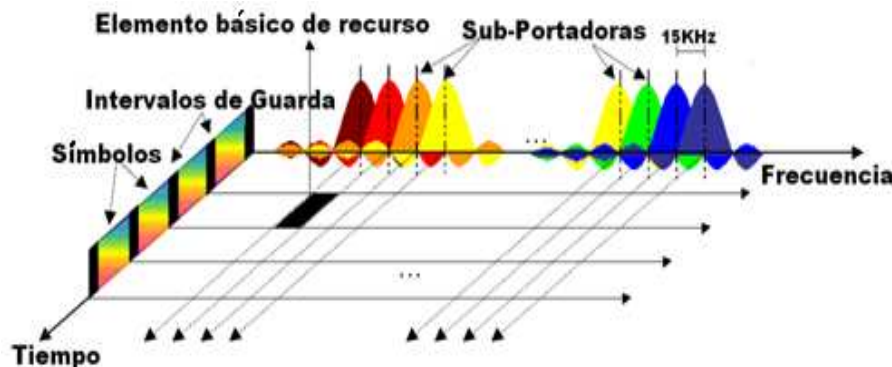
<sup>22</sup> Para más información acerca de la configuración de las sub-tramas remitirse al 3GPP R8-36.211.



**Figura D.14.** Estructura de una Trama en el Dominio del Tiempo (Modo TDD).

### 3.5.3. Estructura de Recursos Físicos en el Enlace de Bajada

En la Figura D.15 [9] [19] se muestra la relación entre dos dimensiones, tiempo y frecuencia (grilla tiempo/frecuencia) donde se representa el elemento básico de los recursos físicos, formado por una sub-portadora OFDM durante un símbolo OFDM.



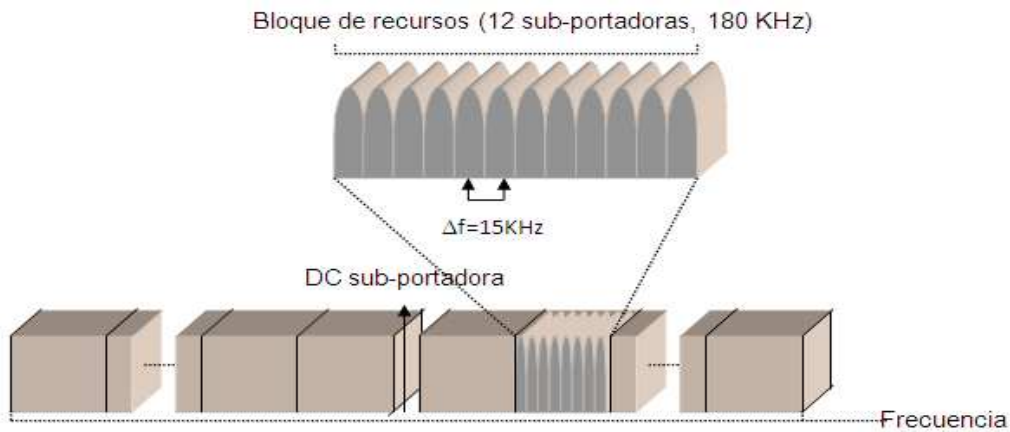
**Figura D.15.** Recursos Físicos en el Enlace de Bajada.

En el enlace de bajada se utiliza un espaciamiento entre sub-portadoras de 15 KHz, aunque para el MBSFN<sup>23</sup> (*Multicast/Broadcast Single Frequency Network*) se plantea el objetivo de reducir el espaciamiento hasta 7.5 KHz.

La Figura D.16 [9] [33] muestra como las sub-portadoras en el enlace de bajada se agrupan dentro de bloques de recursos (RB, *Resource Block*) físicos formados por 12 unidades de sub-portadoras y un  $T_{\text{RANURA}}$  de 7 o 6 símbolos OFDMA. Existe una sub-portadora DC en el centro del espectro que no se usa debido a las interferencias que puede causar<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> Es uno de los escenarios existentes dentro del estándar del 3GPP conocido como MBMS, puede prestar servicios como el de televisión móvil empleando la infraestructura de LTE y es competidor del estándar DVB-H (*Digital Video Broadcasting Handheld*) [34] [35] [36].

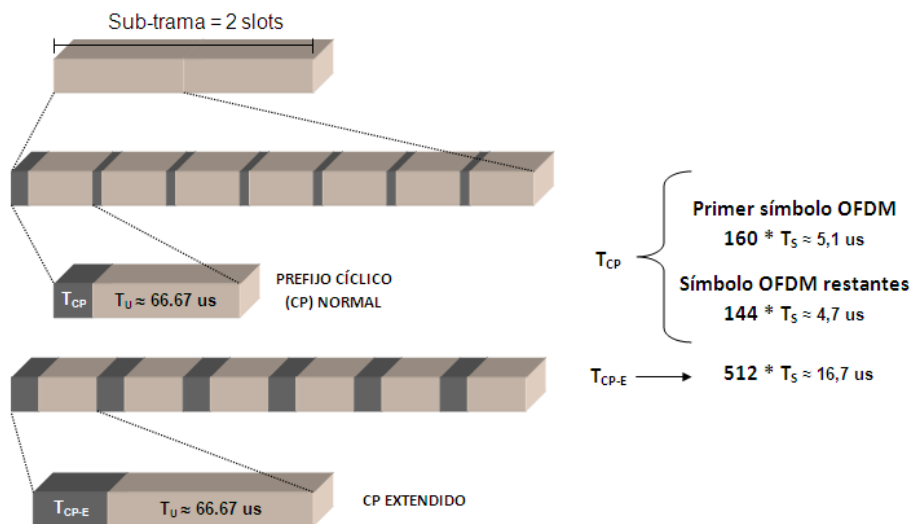
<sup>24</sup> Puede ocurrir en casos en que el oscilador local pierda la sincronización en el transmisor o en el receptor.



**Figura D.16.** Estructura de los Bloques de Recursos en el Dominio de la Frecuencia para el Enlace de Bajada.

### 3.5.4. Prefijo Cíclico Normal y Extendido en el Enlace de Bajada

Un espacio de sub-portadora de 15 KHz corresponde a un tiempo útil de símbolo  $T_U=1/\Delta f \approx 66.7 \mu S$ , el cual, sumado a la longitud temporal del prefijo cíclico ( $T_{CP}$ ) representa el tiempo total del símbolo OFDM como se muestra en la Figura D.17 [9] [33] [37]. LTE define dos longitudes de prefijos-cíclicos (prefijo cíclico normal y extendido) correspondientes a siete y seis símbolos OFDM por ranura, respectivamente. En el primer caso, la longitud del prefijo cíclico del primer símbolo OFDM de una ranura es más largo que el de los demás debido a que se debe completar el  $T_{RANURA}$ .

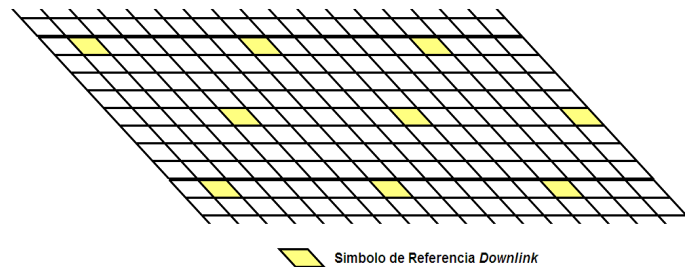


**Figura D.17.** Sub-trama y Estructura del Prefijo Cíclico Normal/Extendido en el Enlace de Bajada.



### 3.5.5. Señales de Referencia Definidas para la Transmisión en el Enlace de Bajada

Las señales de referencia en el enlace de bajada se conocen también como símbolos de referencia los cuales se ubican dentro de la grilla tiempo/frecuencia. Estas señales son utilizadas por un UE para estimar el canal en el enlace de bajada habilitando la detección coherente. Existen tres tipos de señales de referencia [33]: el primero tipo permite hasta cuatro señales de referencia cada una correspondiente a el enlace de bajada en un puerto de antena, el segundo tipo implementa señales de referencia dentro de las sub-tramas MBSFN y el tercer tipo se conoce como señales de referencia de UEs específicos o también conocidas como señales de referencia dedicadas. Cuando se transmite desde una única antena<sup>25</sup>, se introduce una única señal de referencia en la grilla tiempo/frecuencia como muestra la Figura D.18 [33].



**Figura D.18.** Estructura de las Señales de Referencia para una Única Antena en el Enlace de Bajada.

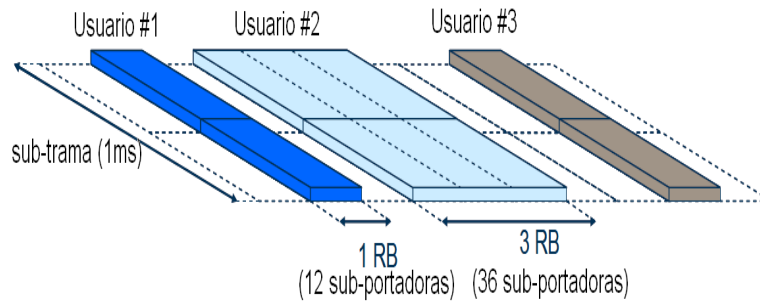
### 3.5.6. Estructura de Recurso Físico en el Enlace de Subida

Al igual que en el caso del enlace de bajada, el elemento básico de recursos se forma a partir de la relación tiempo/frecuencia, considerando una restricción adicional respecto a la asignación; ésta se realiza a partir de un conjunto de sub-portadoras consecutivas<sup>26</sup> con el objetivo de mantener las propiedades de única portadora. Se establece un espaciamiento entre sub-portadoras de 15 KHz y bloques compuestos por elementos de recursos que consisten en 12 sub-portadoras en el dominio de la frecuencia.

Los bloques de recursos asignados a los UEs deben guardar la característica de ser consecutivos en el dominio de la frecuencia, como se muestra en la Figura D.19 [9]. Un bloque de recursos se define por 12 sub-portadoras durante un  $T_{\text{RANURA}}$ . El proceso de asignación de recursos es realizado sobre tiempos múltiplos de  $T_{\text{SUB-TRAMA}}$  lo que lleva a utilizar un número de bloques de recursos par.

<sup>25</sup> Para mayor información relacionada con la estructura de señales de referencia, cuando existe transmisión desde más de una antena, remitirse a la recomendación 3GPP-36.211 [33].

<sup>26</sup> Como consecuencia de la transmisión de sub-portadoras consecutivas, la sub-portadora DC desaparece del centro del espectro en el enlace de subida [9].

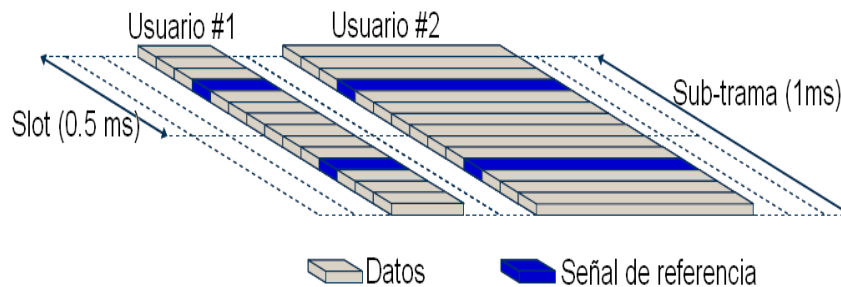


**Figura D.19.** Asignación de Frecuencias en el Enlace de Subida.

El prefijo cíclico empleado en el enlace de subida es similar al utilizado en el enlace de bajada, cada sub-trama consiste en dos ranuras de duración  $T_{\text{RANURA}} = 0.5$  ms donde en cada una se incluyen bloques de recursos con su respectivo prefijo.

### 3.5.7. Señales de Referencia Definidas Para la Transmisión en el Enlace de Subida

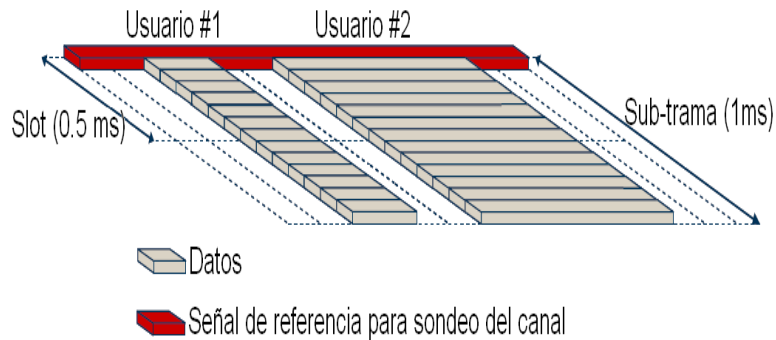
En el enlace de subida aparecen dos clases de señales de referencia: señales de referencia de estimación del canal para el soporte de una transmisión coherente y señales de referencia para el sondeo del canal. El primer tipo de señales es implementado dentro de la grilla tiempo/frecuencia en el cuarto elemento básico de recurso de cada ranura asumiendo un prefijo cíclico normal (7 elementos por cada ranura), como se muestra en la Figura D.20 [9].



**Figura D.20.** Asignación de Recursos en el Enlace de Subida.

Las Señales de Referencia para Estimación del canal (SRS, *Sounding Reference Signals*) tienen como objetivo realizar una estimación de la calidad del canal para los diferentes UEs y a partir de esto realizar el proceso de asignación de recursos correctamente, además, estas señales pueden ser empleadas para la estimación del tiempo de transmisión de los UEs y sincronización del enlace de subida. La Figura D.21 [9] [38] muestra como las SRS son enviadas independientemente de la transmisión de cualquier tipo de información en el enlace y el ancho de banda es diferente de cualquier transmisión simultánea de un mismo UE [38].

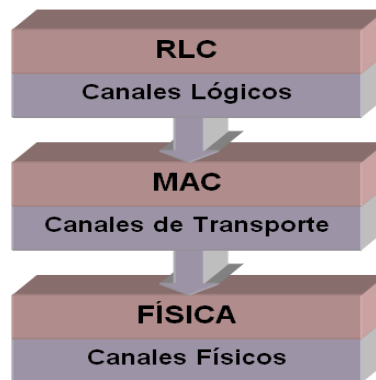




**Figura D.21.** Señales de Referencia para el Sondeo del Canal en el Enlace de Subida.

### 3.6 CANALES

En la Figura D.22 [11] se muestra el modelo básico de los canales existentes en LTE. En él existen 3 tipos de canales encargados de transportar la información sistemáticamente entre niveles. Los canales lógicos ofrecen sus funciones y servicios a los niveles superiores para que estos soporten aplicaciones y servicios, estos canales, son mapeados sobre los canales de transporte en el sub-nivel MAC, finalmente el nivel físico codifica los canales de transporte en canales físicos y son transmitidos.



**Figura D.22.** Arquitectura de Canales.



### 3.6.1. Canales Lógicos

Los canales lógicos son divididos en dos grupos, canales de tráfico y canales de control. El primer grupo se encarga de la transferencia de la información relacionada con el plano de usuario y el segundo grupo se encarga de la transferencia de la información relacionada con el plano de control. En la Tabla D.1 [21] se resumen los canales de tráfico y en la Tabla D.2 [21] se resumen los canales de control.

**Tabla D.1.** Canales de Tráfico.

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal de Tráfico Dedicado (DTCH, <i>Dedicated Traffic Channel</i> )	Subida / Bajada	Canal dedicado, se transmite la información del usuario a través de una conexión punto a punto.
Canal de Tráfico Multidifusión (MTCH, <i>Multicast Traffic Channel</i> )	Bajada	Canal empleado para la transmisión de tráfico de datos entre la red y usuarios de servicio MBMS por medio de una conexión punto a multipunto.

**Tabla D.2.** Canales de Control.

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal de Control de Difusión (BCCH, <i>Broadcast Control Channel</i> )	Bajada	Envía información de la red y la celda.
Canal de Control de Notificación (PCCH, <i>Paging Control Channel</i> )	Bajada	Canal que transmite la información de notificación, es empleado cuando el sistema no sabe en qué celda se encuentra ubicado el UE.
Canal de Control Común (CCCH, <i>Common Control Channel</i> )	Subida / Bajada	Canal empleado por los UEs cuando no existe conexión con la red, será usado cuando un UE este ingresando a una nueva celda o después de la re-selección de celda.
Canal de Control Dedicado (DCCH, <i>Dedicated Control Channel</i> )	Subida / Bajada	Canal empleado por los UEs luego de establecer una conexión con la red. Se transmite información de control dedicada en una conexión punto a punto ( <i>point-to-point</i> ) entre el UE y la red.
Canal de Control de Multidifusión (MCCH, <i>Multicast Control Channel</i> )	Bajada	Canal empleado por los UEs que reciben MBMS y han establecido una conexión con la red.



### 3.6.2. Canales de Transporte

Con el objetivo de evitar conmutaciones innecesarias entre varios tipos de canales se trabaja con un canal de transporte en el enlace de bajada y un canal de transporte en el enlace de subida, el subnivel MAC emplea los servicios que le ofrece el nivel físico por medio de los canales de transporte los cuales son resumidos en la Tabla D.3. [21].

**Tabla D.3.** Canales de Transporte.

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal de Difusión (BCH, <i>Broadcast Channel</i> )	Bajada	Emplea un formato de transporte fijo, además es utilizado para la transmisión de la información proveniente del BCCH.
Canal de Notificación (PCH, <i>Paging Channel</i> )	Bajada	Este canal es difundido en toda la celda, transmite la información de notificación proveniente del PCCH.
Canal de Multidifusión (MCH, <i>Multicast Channel</i> )	Bajada	Canal de transporte dedicado a servicios de multidifusión (MBMS), soporta la combinación de transmisiones MBMS en varias celdas (MBSFN).
Canal Compartido de Enlace de Bajada (DL-SCH, <i>Downlink Shared Channel</i> )	Bajada	Canal empleado como canal de transporte en el enlace de bajada, con la posibilidad de usar HARQ y adaptación de enlace mediante la variación de la modulación, codificación y potencia de transmisión. Soporta DRX y la transmisión de MBMS.
Canal Compartido de Enlace de Subida (UL-SCH, <i>Uplink Shared Channel</i> )	Subida	Canal empleado como canal de transporte en el enlace de subida, con la posibilidad de usar HARQ y AMC.
Canal de Acceso Aleatorio (RACH, <i>Random Access Channel</i> )	Subida	Canal empleado para obtener la sincronización y transmitir la información necesaria para obtener la asignación recursos.



### 3.6.3. Canales Físicos

Los canales físicos son resumidos en la Tabla D.4. [33].

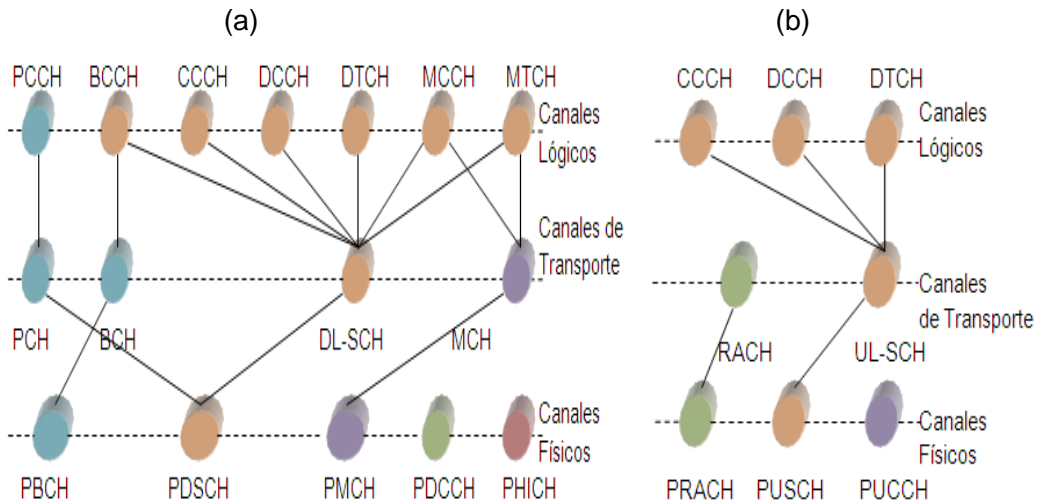
**Tabla D.4.** Canales Físicos.

NOMBRE	ENLACE	DESCRIPCIÓN
Canal Físico Compartido en el Enlace de Bajada (PDSCH, <i>Physical Downlink Shared Channel</i> )	Bajada	Canal encargado de transportar la información real del usuario, en él se mapea DL-SCH.
Canal Físico de Difusión (PBCH, <i>Physical Broadcast Channel</i> )	Bajada	El bloque de transporte BCH codificado se mapea en este canal.
Canal Físico de Multifusión (PMCH, <i>Physical Multicast Channel</i> )	Bajada	Canal encargado de la difusión de servicios MBMS, en él se mapea MCH.
Canal Físico de Control Indicador de Formatos (PCFICH, <i>Physical Control Format Indicator Channel</i> )	Bajada	Canal empleado para informar el número de símbolos OFDM usados para los PDCCHs, transmitidos en cada sub trama.
Canal Físico de Control en el Enlace de Bajada (PDCCH, <i>Physical Downlink Control Channel</i> )	Bajada	Canal empleado para informar al UE acerca de la asignación de recursos y la información del HARQ relacionada con DL-SCH y PCH.
Canal Físico Indicador de HARQ (PHICH, <i>Physical Hybrid ARQ Indicator Channel</i> )	Bajada	Canal empleado para transmitir los ACK/NACKs de las transmisiones en el enlace se subida.
Canal Físico para el Acceso Aleatorio (PRACH, <i>Physical Random Access Channel</i> )	Subida	Canal encargado de transportar el preámbulo para el acceso aleatorio.
Canal Físico Compartido en el enlace de Subida (PUSCH, <i>Physical Uplink Shared Channel</i> )	Subida	Canal encargado de transportar la información real del usuario, en él se mapea UL-SCH.
Canal Físico de Control en el Enlace de Subida (PUCCH, <i>Physical Uplink Control Channel</i> )	Subida	Canal empleado para transmitir los ACK/NACKs de las transmisiones en el enlace de bajada, además transporta los reportes del Indicador de Calidad del Canal (CQI, <i>Channel Quality Indicator</i> )



### 3.6.4. Mapeo de Canales

A continuación en la Figura D.23 [33], se esquematiza para el enlace de bajada (Figura D.23 a) y para el enlace de subida (Figura D.23 b) el respectivo mapeo entre los canales lógicos, transporte y físicos, que es realizado por cada uno de los niveles involucrados en una conexión.



**Figura D.23.** Mapeo de Canales en los Enlaces de Bajada y Subida.

### 3.7 OPCIONES EN EL ANCHO DE BANDA DE CANAL

En el despliegue de LTE, existen opciones en el ancho de banda de canal, los cuales se muestran en la Tabla D.5 [39].

**Tabla D.5.** Opciones en el Ancho de Banda del Canal.

Ancho de banda del canal BW [MHz]	1.4	3	5	10	15	20



### 3.8 BANDAS DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

En la Tabla D.6 [39] se muestran las bandas disponibles para LTE, definidas para su despliegue tanto en FDD como en TDD, por parte del 3GPP.

**Tabla D.6.** Bandas de Espectro Definidas por el 3GPP para los Modos FDD y TDD.

Banda de Operación E-UTRA	Banda de operación de enlace de subida Estación Base Recibe Equipo de Usuario Transmite		Banda de operación de enlace de bajada Estación Base Transmite Equipo de Usuario Recibe		Modo Dúplex
	Banda Inferior		Banda Superior		
1	1920 MHz	– 1980 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	– 1910 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	– 1785 MHz	1805 MHz	– 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	– 1755 MHz	2110 MHz	– 2155 MHz	FDD
5	824 MHz	– 849 MHz	869 MHz	– 894MHz	FDD
6	830 MHz	– 840 MHz	875 MHz	– 885 MHz	FDD
7	2500 MHz	– 2570 MHz	2620 MHz	– 2690 MHz	FDD
8	880 MHz	– 915 MHz	925 MHz	– 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	– 1784.9 MHz	1844.9 MHz	– 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	– 1770 MHz	2110 MHz	– 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	– 1447.9 MHz	1475.9 MHz	– 1495.9 MHz	FDD
12	698 MHz	– 716 MHz	728 MHz	– 746 MHz	FDD
13	777 MHz	– 787 MHz	746 MHz	– 756 MHz	FDD
14	788 MHz	– 798 MHz	758 MHz	– 768 MHz	FDD
17	704 MHz	– 716 MHz	734 MHz	– 746 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	– 1920 MHz	1900 MHz	– 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	– 2025 MHz	2010 MHz	– 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	– 1910 MHz	1850 MHz	– 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	– 1990 MHz	1930 MHz	– 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	– 1930 MHz	1910 MHz	– 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	– 2620 MHz	2570 MHz	– 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	– 1920 MHz	1880 MHz	– 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	– 2400 MHz	2300 MHz	– 2400 MHz	TDD

En este anexo se realizó una revisión de los conceptos más importantes de la tecnología LTE a ser tenidos en cuenta para un proceso de migración a ésta tecnología, dentro de los cuales se encuentran las bandas de frecuencia, la arquitectura del sistema con las entidades que la componen y los aspectos técnicos más importantes.



## ANEXO E. INTEROPERABILIDAD DE LTE CON REDES CDMA Y CON TECNOLOGÍAS NO 3GPP.

A continuación se presenta información de la interoperabilidad de la tecnología LTE con redes CDMA y tecnologías no 3GPP, complementaria a la presentada en el capítulo 2.

### 1. INTEROPERABILIDAD

En LTE existe el *handover* entre sistemas o *handover* entre RATs (*Radio Access Technology*), que hace referencia al *handover* entre E-UTRAN y GERAN, UTRAN o CDMA 2000, para servicios de tiempo real y los que no son de tiempo real. Los *handovers* entre RATs están controlados por el sistema de acceso fuente para el inicio de las mediciones y tomar la decisión de ejecutar el *handover*. El *handover* entre RATs es un *handover* hacia atrás, donde los recursos radio son reservados en el sistema objetivo antes de que el comando de *handover* sea emitido al UE. Como el sistema GERAN no admite *handover* en la conmutación de paquetes (PS HO, *Packet Switced Hanover*), los recursos no están reservados antes del *handover*. La señalización se realiza a través de la red de núcleo por que no hay interfaces directas entre los diferentes sistemas de acceso radio. Toda la información del sistema objetivo es transportada al UE a través del sistema origen de manera transparente. Los datos de usuario se pueden re-transmitir del sistema fuente al objetivo para evitar la pérdida de los datos de usuario. Para acelerar el procedimiento de *handover* no hay necesidad de que el UE tenga alguna señalización con la red de núcleo.

El contexto de la seguridad y la QoS se transfiere del sistema fuente al sistema objetivo. El servidor GW puede ser usado como ancla de la movilidad para los *handovers* entre sistemas. Los tiempos de *handover* entre sistemas y el resumen *handover* entre RATs de la E-UTRAN a la UTRAN se muestra en las Figura E.1. y Figura E.2. respectivamente [3].

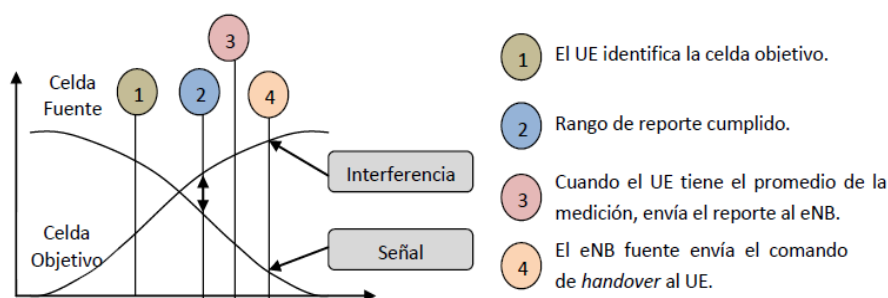
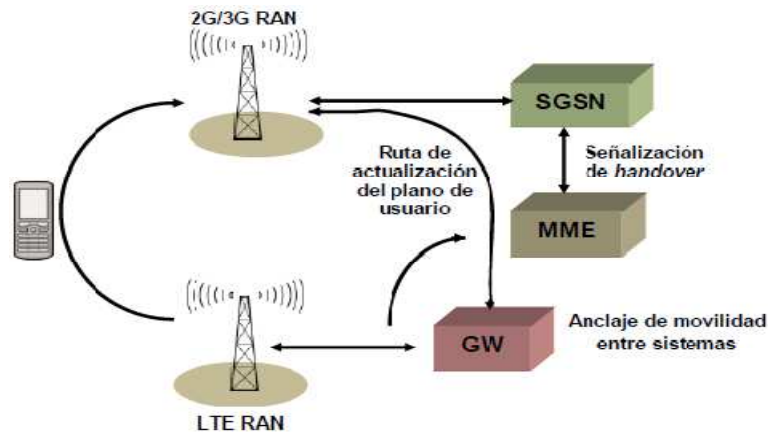


Figura E.1. Tiempos de Traspaso (*Handover*).



**Figura E.2.** Resumen del Traspaso entre RATs de la E-UTRAN a la UTRAN.

El tiempo de interrupción en el *handover* entre sistemas puede ser muy pequeño. Desde el punto de vista del UE se define como el tiempo entre el último TTI que contiene un bloque de transporte en el lado de la E-UTRAN y el tiempo en que el UE inicia la transmisión del nuevo *uplink* DPCCCH del lado de la UTRAN. Este tiempo de interrupción puede ser del orden de los 50ms más la trama de alineación. Cuando el UE entra en la UTRAN, inicialmente se conectara a una celda y los enlaces de traspaso suave pueden agregarse por separado.

La E-UTRAN también es compatible con la movilidad hacia y desde los sistemas de radio que no son 3GPP, tales como el sistema CDMA2000 [3]. Por lo tanto la SAE de LTE interconecta diversas redes de acceso, que en algunas ocasiones pueden ser heterogéneas entre ellas, teniendo así redes acceso 3GPP y no-3GPP:

Las redes 3GPP cuentan con el HSS (*Home Subscriber Server*) como la base de datos de información del suscriptor y se conectan a redes externas a través de un *Gateway* de Paquetes (PDG, *Packet Data Network Gateway*).

Por su parte, las redes no-3GPP utilizan un servidor AAA 3GPP que se comunica también al HSS para coordinar la información necesaria. También usan el PDG para conectarse a redes externas. Esto se muestra en la Figura E.3. [40].



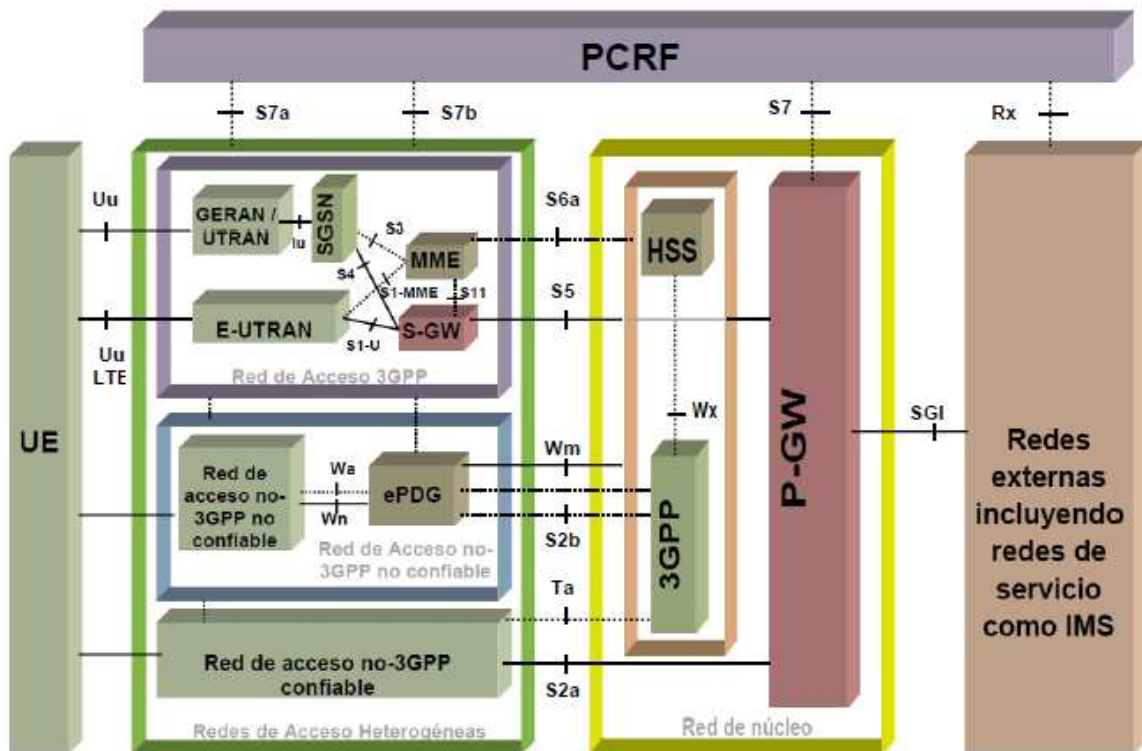
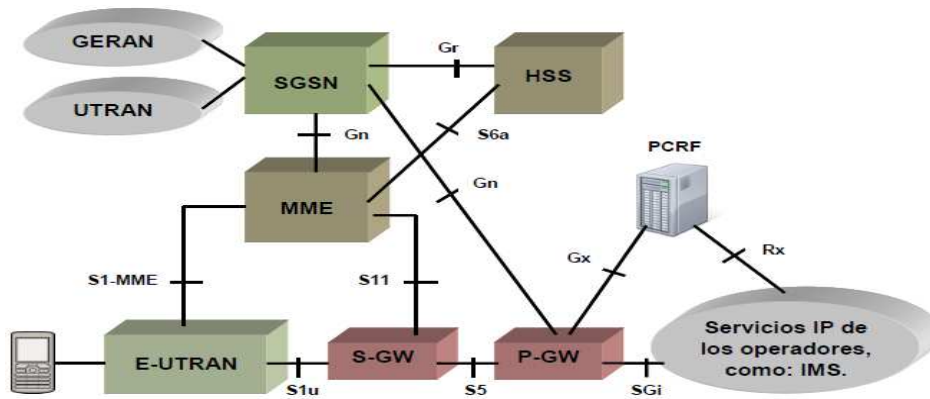


Figura E.3. Interoperabilidad de LTE con otras Redes.

## 2. INTEROPERABILIDAD CON REDES GSM/GPRS/UMTS/HSPA

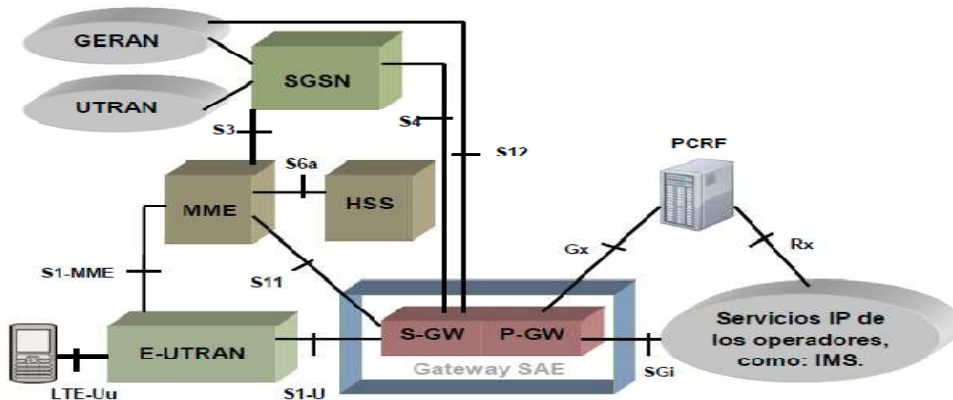
La interoperabilidad con las redes GSM/GPRS/UMTS/HSPA es de especial importancia debido a que le permitirá a los operadores que decidan no hacer una migración inmediata sino mantener parte de sus redes anteriores e ir implementando LTE, tener en funcionamiento las diferentes redes en conjunto, para ofrecer sus servicios y aprovechar al máximo la infraestructura que ya tienen instalada. Para la interoperabilidad de LTE con redes GSM/GPRS/UMTS/HSPA, el 3GPP define dos soluciones.

La primera pretende que tanto el MME como el P-GW interactúen con el SGSN por medio de la interfaz  $G_n$ , ya usada en los sistemas pre-Rel8. En esta solución, un equipo que soporta LTE pero que no encuentra cobertura, deberá unirse a una red de acceso GERAN/UMTS y a su vez al SGSN de dicha red. Este deberá conectarlo siempre a un P-GW y nunca a un GGSN ya que entre la red de radio LTE y el GGSN no hay conexión lógica. Esto se muestra en la Figura E.4. [20].



**Figura E.4.** Interoperabilidad con Redes GSM/GPRS/UMTS/HSPA, Opción 1.

La segunda solución se basa en la capacidad del SGSN de soportar cuatro nuevas interfaces: la interfaz S3 que maneja señalización únicamente y conecta el SGSN y el MME para soportar movilidad entre sistemas. La interfaz S4 que conecta el SGSN con el SGW. La interfaz S6d que imita las funciones de la interfaz S6a, pero en este caso permite que el SGSN adquiera información referente a los suscriptores LTE. La interfaz S16 que se encarga de la interconexión de varios SGSN. Esto se muestra en la Figura E.5. [20].



**Figura E.5.** Interoperabilidad con Redes GSM/GPRS/UMTS/HSPA, Opción 2.



### 3. INTEROPERABILIDAD CON REDES CDMA

Se necesitan varias interfaces adicionales en la arquitectura EPS para permitir la interconexión LTE-CDMA. Existen interfaces únicas (S101, S102, S103) para las redes CDMA y otras genéricas que pueden ser usadas por cualquier red de acceso no-3GPP (S2a, Gxa, STa). Esto se muestra en la Figura E.6. [20].

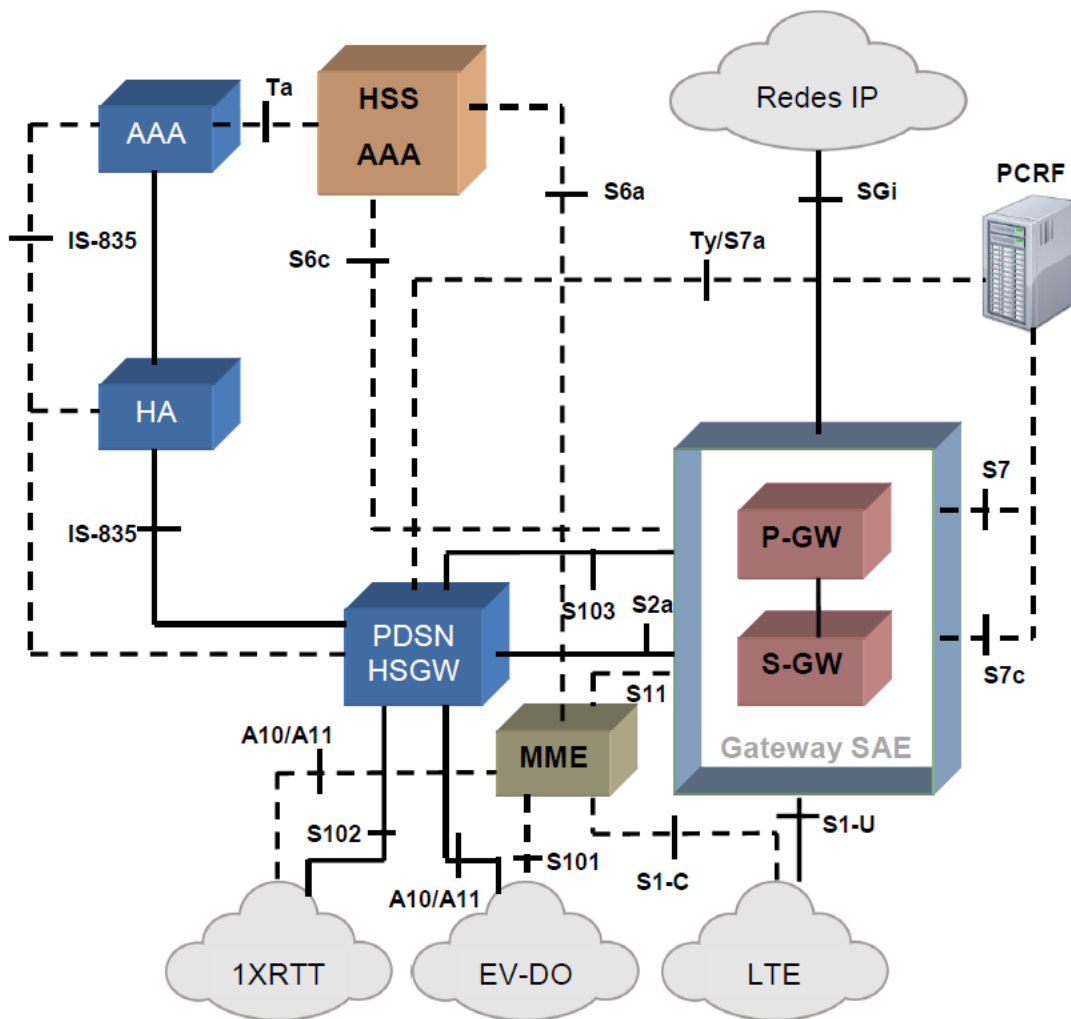


Figura E.6. Interoperabilidad con Redes CDMA.

En la Figura E.6. se observa que la red EV-DO o eHRPD se conecta a la arquitectura EPC por medio de la interfaz STa, que a su vez termina en el nodo lógico llamado 3GPP AAA Server. Este, a su vez, se conecta al HSS usando la interfaz SWx y con el PGW usando la interfaz S6b. Los datos de usuario entre el eHRPD Serving Gateway (HSGW) y el PGW son transportados sobre la interfaz S2a que usa el protocolo PMIPv6. La arquitectura permite que también las redes CDMA tengan políticas de acceso a través de la conexión del PCRF con el HSGW sobre la interfaz Gxa.



Por su parte, la interfaz S101 es usada cuando los paquetes de datos pasan de la red LTE a la red eHRPD. Antes que este traspaso se dé; el terminal se pre-registra en la red destino para prepararla y así reducir periodos de interrupción en la transmisión de datos. La interfaz S103 y la S102, son interfaces que optimizan la experiencia del usuario. La S103 se usa para reenviar cualquier paquete IP destinado al terminal que ha terminado el SGW mientras que el terminal estaba ejecutando el traspaso a la eHRPD. La interfaz S102 se usa para soportar servicios de voz en 1xRTT.

#### **4. INTEROPERABILIDAD CON TECNOLOGIAS NO 3GPP Y NO CONFIABLES**

Dado que SAE soporta el acceso de todo tipo de redes, pueden existir algunas "confiables" y algunas "no confiables". Las primeras simplemente son aquellas en las que el operador 3GPP confía en la seguridad de la red que está accediendo a su núcleo (como es el caso de las redes CDMA). Una red "no confiable" puede ser, por ejemplo, el uso de una WLAN en un café público para conectarse al servicio VPN de su empresa.

Las interfaces correspondientes para las redes no confiables son la S2b, SWa y Gxb. Ya que el operador no confía en la seguridad del acceso al que el usuario se ha unido, las interfaces S2b y Gbx no permiten el acceso a la red por sí mismas. En cambio, surge un nuevo elemento de red llamado ePDG (Evolved Packet Data Gateway) que permite la interconexión de la WLAN con la red 3GPP. El ePDG es conectado al PGW para transferir tanto datos de usuario como de señalización usando la interfaz S2b. El ePDG también se conecta al PCRF a través de la interfaz Gxb. La interfaz entre la red de acceso no confiable y el ePDG se conoce como SWn. Por último, la interfaz SWm se encarga de transportar únicamente la señalización presente entre el ePDG y el AAA server. Esto se muestra en la Figura E.7. [20].

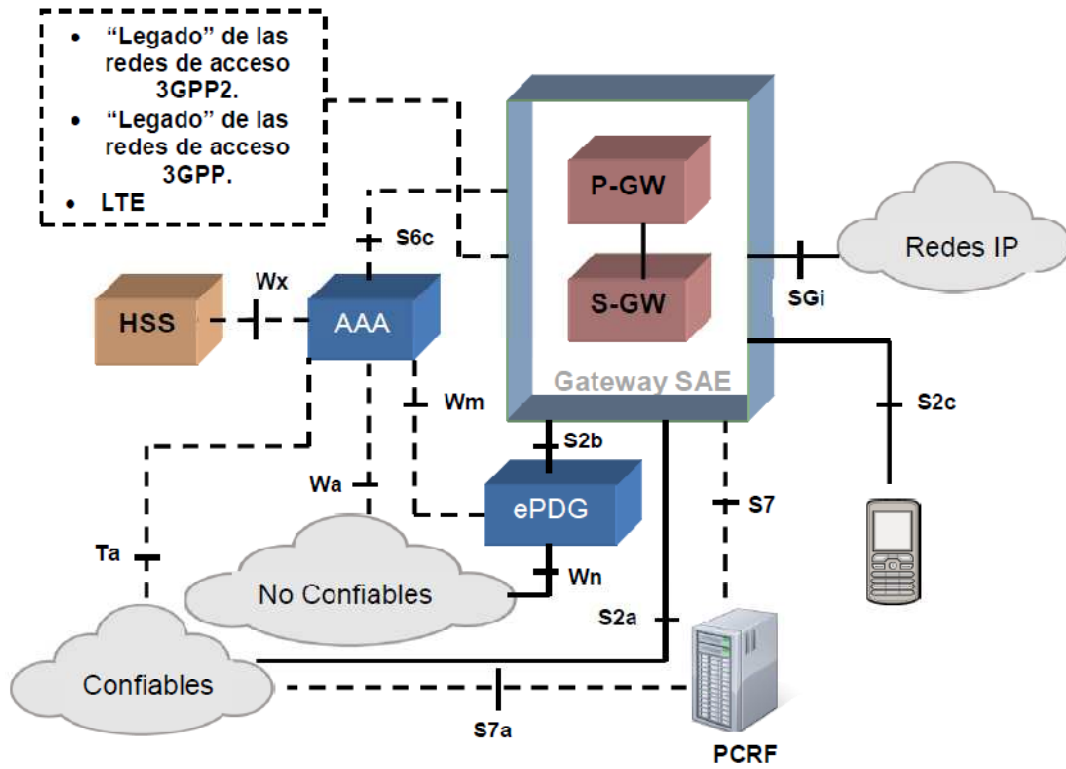


Figura E.7. Interoperabilidad con Redes no-3GPP y no Confiables.



### ANEXO F. PLAN DE MIGRACIÓN DE LA BANDA DE 700 MHZ EN COLOMBIA.

Se inicio por parte del MINTIC, el reordenamiento del espectro radioeléctrico con el correspondiente ajuste al plan de frecuencias para el servicio de TV radiodifundida en tecnología análoga y digital. De esta manera se iniciará la liberación de la banda de 700 MHz para el uso posterior de las tecnologías de banda ancha móvil. En la Figura F.1. [41] se muestra el proceso que se espera seguir por parte del gobierno para lograr la liberación de la banda entre 698 y 806 MHz.

**Figura F.1.** Plan de Migración Banda 700 MHz.

Subdirección Técnica y Operaciones								Apagón Analógico ▼	Ciudad / Área Influencia	Fecha de liberación
Implementación Servicio TDT										
Detalle Liberación Frecuencias Dividendo Digital Banda 698 MHz a 806 MHz										
AÑO CANALES	2010		2011	2012	2013	2014 - 2018	2019			
	1º Semestre	2º Semestre								
52 - 63									Bogotá	Se requiere anticipar apagón analógico para canales locales Sin Animo de Lucro, previo encendido Digital
									Cali	En estudio
									Resto país	En estudio
64 - 69									Bogotá	Libres a partir 6 de junio de 2010
									Cali	En estudio
									Resto país	Libres a partir 6 de junio de 2010

	Canal Servicio Digital
	Canal Servicio Analógico
	Canales Admon de Ministerio de TIC
	En estudio



## REFERENCIAS

- [1] "W-CDMA", 3GPP. [En línea]. Disponible en: <http://www.3gpp.org/article/w-cdma> [Última consulta: Febrero de 2011].
- [2] "UMTS", 3GPP. [En línea]. Disponible en: <http://www.3gpp.org/article/umts> [Última consulta: Febrero de 2011].
- [3] H. Holma. A. Toskala "HSDPA/HSUPA for UMTS"; Editorial John Wiley & Sons, Ltd. 2006.
- [4] "HSPA: High Speed Packet Access", 4G Americas. [En línea]. Disponible en: <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&pageid=1100> [Última consulta: Febrero de 2011].
- [5] M. Fitton, "Principles of Digital Modulation", Telecommunications Research Lab, Toshiba, Disponible en: [http://wireless.ictp.trieste.it/school\\_2001/lectures/fitton/digital\\_mod.pdf](http://wireless.ictp.trieste.it/school_2001/lectures/fitton/digital_mod.pdf) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [6] M. Romero; Tesis profesional "Diseño de una Red HSDPA para la Ciudad de Arequipa"; Pontificia Universidad Católica del Perú; Lima, Perú; 2009.
- [7] D. Martínez; Tesis profesional "Análisis de Factibilidad de Implementación de RAN SHARING para el Servicio Móvil Avanzado con Tecnología UMTS en el Ecuador"; Escuela Politécnica Nacional, Valdivia, Chile; Junio 2010.
- [8] K. Soto; Tesis profesional "LTE, Evolución a Largo Plazo para el Acceso Inalámbrico de Banda Ancha Móvil"; Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile; 2009.
- [9] E. Dahlman, S. Parkvall, J. Sköld, P. Beming "3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband"; Editorial Elsevier, Ltd. 2008.
- [10] G. Mundaca; Tesis profesional "UMTS en Chile, enfocado en la Red de Acceso Radio Terrestre UMTS (UTRAN)"; Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile; 2009.
- [11] E. Rojas, (2009, octubre) "La Nueva Realidad Móvil en América Latina", Disponible en: [http://www.andicom.org.co/memorias2009/jueves/9\\_00\\_erasmo\\_rojas\\_tendencias\\_de\\_servicios\\_moviles\\_en%20america\\_latina.pdf](http://www.andicom.org.co/memorias2009/jueves/9_00_erasmo_rojas_tendencias_de_servicios_moviles_en%20america_latina.pdf) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [12] 3GPP TS 25.301, "Radio interface protocol architecture" (Release 5 versión 5.6.0).
- [13] 3GPP TS 25.321, "Medium Access Control (MAC) protocol specification" (Release 5 versión 5.14.0).



- [14] 3GPP TS 25.221, “Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (TDD)” (Release 5 versión 5.7.0).
- [15] 3GPP TS 25.101, “User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD)” (Release 5 versión 5.20.0).
- [16] 3GPP TS 25.102, “User Equipment (UE) radio transmission and reception (TDD)” (Release 5 versión 5.21.0).
- [17] 3GPP, (2008, Agosto) “Overview of 3GPP Release 8” (Release 8 Version 0.0.1), 3GPP [En línea]. Disponible en: [http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK\\_PLAN/Description\\_Releases/Previous\\_versions/](http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Previous_versions/) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [18] “LTE”, 3GPP. [En línea]. Disponible en: <http://www.3gpp.org/article/lte> [Última consulta: Febrero de 2011].
- [19] T. Zemen, (2008, abril) “OFDMA/SC-FDMA Basics for 3GPP LTE (E-UTRA)”, Forschungszentrum Telekommunikation Wien (ftw), [En línea]. pp 4-17, Disponible en: [http://www.nt.tuwien.ac.at/fileadmin/users/wkarner/OFDMA\\_SCFDMA.pdf](http://www.nt.tuwien.ac.at/fileadmin/users/wkarner/OFDMA_SCFDMA.pdf) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [20] G. Fritze, (2008, Abril) “SAE - The Core Network for LTE”, Ericsson, [En línea]. pp 15-33, Disponible en: [http://www.3g4g.co.uk/Lte/SAE\\_Pres\\_0804\\_Ericsson.pdf](http://www.3g4g.co.uk/Lte/SAE_Pres_0804_Ericsson.pdf) [Última consulta: Julio de 2010].
- [21] 3GPP TS 36.300, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)” (Release 8 versión 8.11.0).
- [22] 3GPP TR 23.882, “Report on Technical Options and Conclusions” (Release 8 versión 8.0.0).
- [23] 3GPP TS 29.060, “GPRS Tunnelling Protocol (GTP) across the Gn and Gp interface” (Release 9 versión 9.2.0).
- [24] 3GPP TS 29.281, “General Packet Radio System (GPRS) Tunnelling Protocol User Plane (GTPv1-U)” (Release 8 versión 8.5.0).
- [25] C. Reece. (2009, Agosto) “LTE and UMTS Terminology and Concepts”, LTE University, [En línea]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/48556485/LTE-and-UMTS-Terminology-and-Concepts> [Última consulta: Febrero de 2011].





- [26] 3GPP TS 23.401, "General Packet Radio Service (GPRS) enhancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) access" (Release 8 Versión 8.9.0).
- [27] 3GPP TR 25.814, "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)" (Release 7 Versión 7.1.0).
- [28] J. Zyren, (2007, Julio) "Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer", Freescale [En línea]. pp 3-14, Disponible en: [http://www.freescale.com/files/wireless\\_comm/doc/white\\_paper/3GPPEVOLUTIONWP.pdf](http://www.freescale.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/3GPPEVOLUTIONWP.pdf) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [29] H. Holma, A. Toskala; "LTE for UMTS"; Editorial John Wiley & Sons, Ltd. 2009
- [30] M. Rummey, (2008, Marzo) "SC-FDMA –the new LTE uplink explained", Agilent Technologies [En línea]. pp 22-30, Disponible en: [http://www.3g4g.co.uk/Lte/LTE\\_SCFDMA\\_Pres\\_0803\\_Agilent.pdf](http://www.3g4g.co.uk/Lte/LTE_SCFDMA_Pres_0803_Agilent.pdf) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [31] K. Farooq; "LTE for 4G Mobile Broadband"; Editorial Cambridge University Press, USA. 2009.
- [32] S. Schulz; "Introduction to MIMO"; Rohde&Schwarz [En línea]. pp 3-15, Disponible en: [http://www2.rohde-schwarz.com/file\\_12364/1MA142\\_0e.pdf](http://www2.rohde-schwarz.com/file_12364/1MA142_0e.pdf) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [33] 3GPP TS 36.211, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation" (Release 8 Versión 8.9.0).
- [34] (2007) "Long Term Evolution (LTE): A Technical Overview", Motorola [En línea]. pp 3-10, Disponible en: [http://www.motorola.com/staticfiles/Business/Solutions/Industry%20Solutions/Service%20Providers/Wireless%20Operators/LTE/Document/Static%20Files/6834\\_MotDoc\\_New.pdf](http://www.motorola.com/staticfiles/Business/Solutions/Industry%20Solutions/Service%20Providers/Wireless%20Operators/LTE/Document/Static%20Files/6834_MotDoc_New.pdf) [Última consulta: Febrero de 2011].
- [35] 3GPP TS 36.440, "General aspects and principles for interfaces supporting Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) within E-UTRAN" (Release 9 Versión 2.0.0).
- [36] 3GPP TS 36.441, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Layer 1 for interfaces supporting Multimedia Broadcast Multicast Service (MBMS) within E-UTRAN" (Release 9 Versión 2.0.0).
- [37] (2009, Noviembre) "3GPP LTE for TDD Spectrum in the Americas", 3G Américas [en línea]. pp 7-11, Disponible en:



[http://www.3gamericas.org/documents/2009\\_LTE%20TDD\\_11\\_19\\_09\\_final\\_.pdf](http://www.3gamericas.org/documents/2009_LTE%20TDD_11_19_09_final_.pdf)

[Última consulta: Febrero de 2011].

- [38] H. Lei, (2010, abril) "Sounding Referece Signal", LTE University [En línea]. Disponible en: <http://www.lteuniversity.com/blogs/hongyanlei/archive/2010/04/20/sounding-reference-signal.aspx> [Última consulta: Febrero de 2011].
- [39] 3GPP TS 36.101, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception" (Release 8 Versión 8.10.0).
- [40] C. Kappler, "*Umts Networks and Beyond*"; Editorial John Wiley & Sons, Ltd. 2009.
- [41] M. Samudio (2010, Noviembre) "Los planes de las administraciones nacionales para la transición de la TV analógica a digital y el mejor aprovechamiento del espectro", CITEL [En línea]. Disponible en: <http://portal.oas.org/Portal/Topic/CITEL/tabid/378/Default.aspx> [Última consulta: Febrero de 2011].